



**SELINUS UNIVERSITY**  
OF SCIENCES AND LITERATURE

**IL TRATTAMENTO DELLE SUPERFICI  
TRAMITE IL PROCESSO DI  
GRANIGLIATURA**

By  
Andrea Compagnin

Supervised By  
Prof. Salvatore Fava Ph.D.

Presented to the Department of  
Mechanical Engineering & Technology  
program at Selinus University

Faculty of Engineering & Technology  
in fulfillment of the requirements  
of the accelerated degree of  
Bachelor of Sciences in Mechanical Engineering

JUNE 2019

*“CON LA PRESENTE DICHIARO DI ESSERE L’UNICO AUTORE DI  
QUESTA TESI E CHE IL SUO CONTENUTO E’ SOLO IL  
RISULTATO DELLE LETTURE FATTE E DELLE RICERCHE  
SVOLTE.”*

Andrea Compagnin

## SOMMARIO

Abstract .....	I
Indice delle figure .....	II
Ringraziamenti.....	III
Capitolo I: Il trattamento di superficie dei materiali .....	7
Introduzione al processo di granigliatura.....	7
Effetti della granigliatura .....	8
Campi di applicazione.....	9
L'utensile della granigliatrice: la graniglia .....	10
La forma delle graniglie .....	11
Le graniglie metalliche .....	12
Le graniglie minerali inorganiche.....	13
Le graniglie in materiale organico.....	16
Capitolo II: La granigliatura nel Sistema Internazionale .....	18
Applicazione di rivestimenti e preparazione delle superfici.....	18
Ripartizione granulometrica .....	19
Gradi di sabbatura .....	21
Ottenere la giusta rugosità .....	21
La tensione residua.....	26
Il controllo del processo: intensità e copertura.....	27
Capitolo III: Impianti di granigliatura.....	31
I sistemi di lancio .....	31
Sistemi di lancio ad aria compressa .....	32
Impianti in aspirazione .....	32
Impianti in pressione.....	32
Sistemi di lancio a turbina .....	34
Il sistema di circolazione dell'abrasivo .....	41
Il sistema di raccolta delle polveri.....	47
Capitolo IV: Le granigliatrici secondo la Direttiva Macchine.....	51
Documentazione a corredo dell'impianto secondo la Direttiva Macchine.....	51
L'Analisi dei Rischi per gli impianti di granigliatura, cenni.....	52
Capitolo V: Caso di studio .....	53
Impianto di pallinatura a tavola rotante a 3 stazioni .....	53
Problema .....	53
Soluzione.....	53
Risultati ottenuti.....	55
Capitolo VI: Conclusioni.....	56
Appendice A: Profili di Rischio per gli addetti alla sabbatura, cenni... ..	57
Appendice B: Aziende fondatrici e storiche, cenni... ..	58
Bibliografia .....	60

## ABSTRACT

Questa trattazione vuole dare una panoramica generale sulla tecnologia e sull'utilizzo della granigliatura e dello shot peening, senza entrare in descrizioni tecniche particolari che sono estremamente complesse e diverse a seconda dell'applicazione specifica.

Pur essendo un processo industriale assolutamente consolidato e maturo, sia la granigliatura che lo shot peening (pallinatura controllata) rimangono tutt'oggi un processo troppo spesso sottovalutato se non semiconosciuto. La loro relativa semplicità esecutiva ed il fatto di essere apparentemente simili al processo di sabbiatura, vengono considerati poco più di un trattamento di finitura superficiale, buono per smussare gli spigoli e per dare una buona finitura alla superficie e null'altro.

Nella realtà, sia la granigliatura che lo shot peening, sono dei trattamenti estremamente raffinati e complessi, e nel proprio campo di applicazione, in grado di dare una finitura estetica ottimale al prodotto (nel caso della granigliatura) o di incrementare in maniera significativa quasi tutte le caratteristiche di resistenza in esercizio dei materiali metallici.

Nella loro apparente semplicità, nascondono un processo industriale che per sviluppare appieno le proprie potenzialità, richiede una specifica competenza per la scelta dei materiali da utilizzare, delle singole macchine da scegliere per comporre l'impianto e per la messa a punto dei parametri di processo, che a loro volta, richiedono attrezzature di controllo estremamente specifiche; pena il rischio di un'assoluta inefficacia o addirittura un danneggiamento del materiale trattato.

La scarsa conoscenza tecnica del processo, considera sia la granigliatura che lo shot peening, dei trattamenti superficiali di basso livello tecnologico e che conferiscono un basso valore aggiunto al componente da trattare.

In realtà, anche nei mercati specializzati in produzioni a basso costo, la finitura ed i trattamenti superficiali, sono passati dall'essere processi opzionali a dei trattamenti standard nella realizzazione dei componenti. La migliorata considerazione del trattamento di granigliatura o shot peening è stato provocato dal progresso tecnologico e dalla differenziazione dei prodotti.

Nel mercato globale di questo secolo, le aziende non possono più rinunciare ad alcun vantaggio competitivo rispetto ai propri concorrenti e la differenziazione dei propri prodotti è indispensabile; si cerca, attraverso trattamenti superficiali opportuni, di rifinire il prodotto per la sua migliore valorizzazione estetica e prestazionale.

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Descrizione</i>	<i>Pagina</i>
Benjamin Chew Tilghman .....	7
Deformazione plastica da impatto e compressione superficiale .....	9
Shot peening su palette compressore per turbina .....	10
Superficie bocciardata per pavimentazione .....	10
Graniglia abrasiva sferica metallica.....	11
Graniglia di carburo di silicio .....	15
Graniglia in materiale ceramico.....	16
Rugosimetro .....	23
Pressione Hertziana e deformazione plastica.....	26
Stato tensionale a trazione e compressione .....	26
Curva di saturazione o intensità di pallinatura .....	27
Intensità di pallinatura in funzione all'angolo d'impatto .....	28
Profondità di compressione e intensità di pallinatura.....	28
Copertura in funzione del tempo di esposizione.....	29
Schema shot peening su Almen strip.....	30
Diagramma curva di saturazione (per 4 provini Almen) .....	30
Schema pistola di sabbiatura in aspirazione.....	33
Esplosi pistola di sabbiatura.....	32
Schema di impianto ad aria compressa.....	33
Turbina con motore diretto e rotore a doppio disco .....	35
Turbina con mandrino e trasmissione a cinghie e pulegge.....	35
Esplosi dei componenti rotanti di una turbina .....	36
Schema di lancio dell'abrasivo di una turbina.....	36
Regolazione del getto dell'alloggio ventola .....	37
Direzione del flusso abrasivo e velocità periferica .....	38
Schema di una granigliatrice a barile .....	39
Schema di una granigliatrice a gancio .....	40
Vista interna di un vaglio rotante.....	41
Trasportatore vibrante .....	43
Schema nastro elevatore a tazze.....	44
Elevatore a tazze vista complessiva.....	44
Vista di un separatore pneumatico con coclea di alimentazione .....	44
Vista in sezione di un separatore pneumatico.....	45
Valvola abrasiva pneumatica .....	46
Valvola abrasiva manuale per impianti ad aria compressa .....	46
Valvola abrasiva Magnavalve®.....	46
Classificatore (selezionatore) vibrante .....	47
Filtro depolveratore a cartucce .....	48
Filtro depolveratore a maniche .....	48
Valvola stellare o rotocella.....	49
Polmone per pulizia cartucce .....	49
Schema di un filtro depolveratore .....	50
Elementi filtranti: maniche e cartucce .....	50
Tabella Analisi dei Rischi secondo la norma EN 1248:2009.....	52
Foto della valvola oleodinamica proporzionale assemblata.....	53
Disegni di massima dell'impianto .....	54
Dettaglio motorizzazione lance di pallinatura .....	55

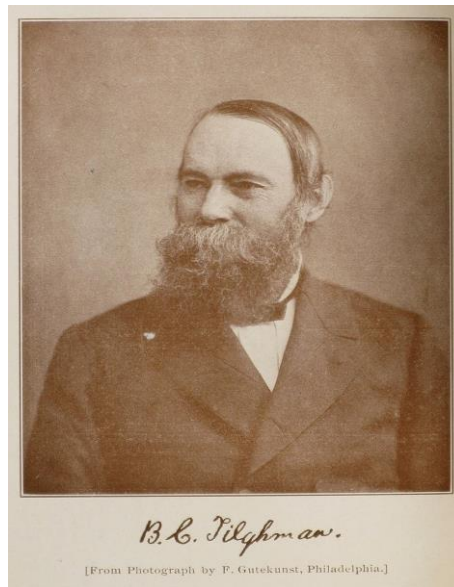
## RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere un sentito ringraziamento a Monica che mi ha sempre incoraggiato e sostenuto, ed alle aziende in cui ho lavorato per l'ampia esperienza diretta che mi hanno fornito. Un ringraziamento speciale al professor Salvatore Fava per la sua disponibilità ed i suoi preziosi consigli per la stesura di questa tesi.

## IL TRATTAMENTO DI SUPERFICIE DEI MATERIALI

### **Introduzione al processo di granigliatura**

La storia della granigliatura ha una storia interessante. Il Capitano Benjamin Chew Tilghman, nato a Philadelphia in Pennsylvania nel 1821 era un militare durante la guerra civile degli Stati Uniti. La leggenda dice che, osservando gli effetti del vento carico di sabbia dei deserti che colpivano le finestre degli alloggi, corrodendole, concepì il processo della sabbiatura che brevettò nel 1870.



*Benjamin Chew Tilghman (da Wikipedia)*

Benjamin C. Tilghman è stato il fondatore della società Wheelabrator il cui termine è nato perché la macchina lanciava dei getti di abrasivo tramite un dispositivo a ruota, simile a una turbina.

Il processo di sabbiatura è considerata dai più, una lavorazione meccanica di tecnologia “povera”; niente di più sbagliato. La sabbiatura è invece estremamente ricca di una tecnologia meccanica complessa che solo pochi sono in grado di applicare, gestire e sviluppare in maniera competente. Si tratta di un metodo scientifico per il trattamento superficiale dei materiali metallici e non, estremamente duttile ed in grado di servire a molteplici scopi.

La “sabbiatura” in realtà, si suddivide in due sottogruppi fondamentali: la granigliatura e la pallinatura.

**Il processo di granigliatura** prevede di lanciare un agente abrasivo (un gran numero di pallini detti graniglia) per asportare lo strato superiore dalla superficie di un pezzo o

materiale, per esempio asportare la ruggine dal ferro, la calamina dall'acciaio, la terra di fusione dai pezzi usciti da uno stampo di colata di una fonderia, oppure per rendere satinata la superficie come nel caso di vetrate, marmi o lamiere in acciaio inox.

**Il processo di pallinatura controllata** o shot peening, è invece quel processo che, tramite il lancio di medi abrasivi estremamente duri contro la superficie di un pezzo, ne modifica lo stato di tensione superficiale, incrementando le caratteristiche fisiche di resistenza meccanica dello stesso. Un tipico esempio è la pallinatura delle teste dei cilindri o delle canne di un motore a scoppio, allo scopo di rendere le superfici più resistenti all'usura, oppure la pallinatura delle superfici alari di un velivolo, in modo da aumentarne la resistenza e l'elasticità.

### **Effetti della granigliatura**

Le particelle di abrasivo (graniglia) lanciate ad alta velocità (tra i 75 e gli 85 m/sec) impattano sulla superficie del pezzo da trattare con la loro elevata energia cinetica e producono alcuni effetti. Nel caso più comune di materiali metallici, gli effetti sono;

1) Pulizia da elementi contaminanti:

- Terre di fonderia, provenienti dalle forme di colata, sporczia ed altre impurità superficiali.
- Ossidi formati a caldo (calamina e magnetite) che si generano durante i processi di laminazione, di stampaggio, di fucinatura e di trattamento termico.
- Ossidi formati a freddo, ad esempio la ruggine.

L'eliminazione delle terre di fonderia è denominata sterro granigliatura mentre l'eliminazione degli ossidi è denominata discagliatura o descaling.

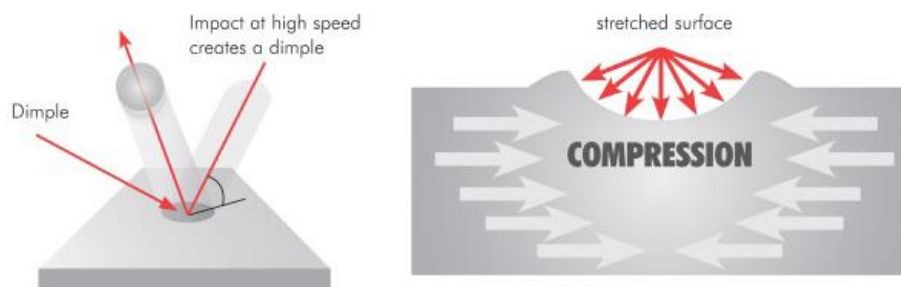
2) Finitura superficiale per:

- Asportazione di bave da fusione, materozze canali di colata, mantenendo invariata forma e dimensioni dei pezzi da trattare.
- Pezzi con spigoli vivi da arrotondare o smussare.
- Modifica dell'aspetto dei pezzi rendendoli uniformi, o con particolari effetti visivi o per incidere la superficie stessa.

La rugosità superficiale ha una profondità, forma e passo che sono variabili e possono essere scelti in funzione del rivestimento da applicare oppure in funzione dell'aspetto che si vuole ottenere, sia prima che dopo la protezione.

Il processo di shot peening, provoca l'incrudimento della superficie colpita dalla graniglia. Fino ad una certa profondità, si produce una sollecitazione a compressione il cui effetto sulla resistenza a fatica durante l'uso, può essere veramente elevato.





### *Deformazione plastica da impatto e compressione superficiale*

#### **Campi di applicazione**

Sono ormai molti anni che i processi di granigliatura e la pallinatura sono applicati in molti campi diversi tra loro e con un notevole successo:

Nella sterro granigliatura, i contaminanti si formano durante i processi di fucinatura, stampaggio, laminazione, trattamento termico e che sono tipici di fonderie, acciaierie, forge, costruzioni in acciaio, trattamenti termici e cantieri navali.

La discagliatura trova applicazione in tutti quei settori che richiedono la preparazione della superficie prima di una successiva applicazione di un rivestimento o di uno strato protettivo. In questo caso, oltre all'effetto di pulizia superficiale, bisogna sommare anche l'effetto di modifica della rugosità superficiale.

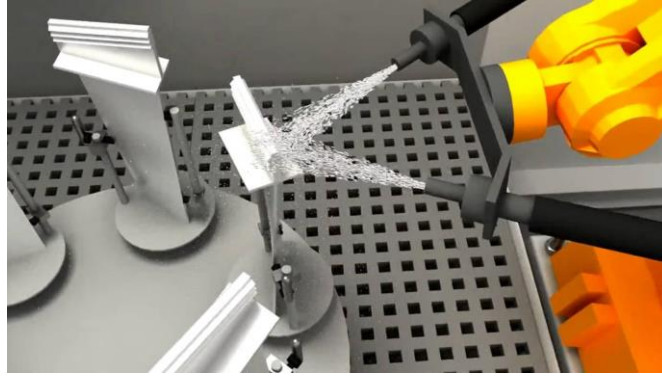
Esempi di applicazione della discagliatura o discaling, sono la verniciatura, metallizzazione, smaltatura, teflonatura, ecc...

La granigliatura a rugosità controllata è richiesta invece in quelle applicazioni in cui è necessario determinare con esattezza il tipo di rugosità superficiale da ottenere intesa come valori di forma e profondità.

Questo particolare trattamento superficiale, viene applicato nella produzione di cilindri per la laminazione a freddo di vetrerie ed acciaierie. Nei cilindri per la laminazione a freddo, la rugosità della superficie del cilindro viene trasmessa al prodotto laminato.

La pallinatura (Shot Peening o Stress Peening) consiste invece nell'aumentare la resistenza a fatica dei componenti soggetti a sforzi di flessione o torsione alternati. Viene applicata a tutti quei componenti a cui sono richiesti massima affidabilità e durata, in particolare nei componenti aeronautici, negli ingranaggi, molle a spirale, ruote dentate, alberi a camme, alberi motore.

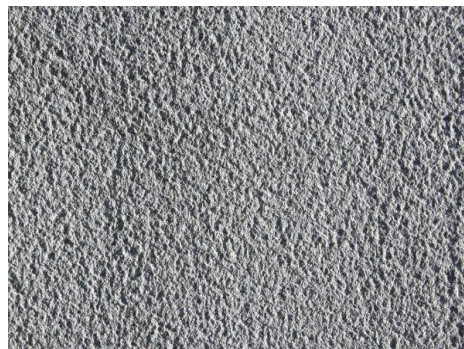
I settori che utilizzano maggiormente il processo della pallinatura controllata sono: l'industria aeronautica ed aerospaziale, l'industria dell'automobile, l'industria ferroviaria.



*Shot Peening su palette compressore per turbina*

Oltre a questi ambiti “tecnologici” possiamo anche aggiungere l'anticatura e la bocciardatura dei manufatti in marmo, cemento e pietre. Viene utilizzata una granigliatura con graniglia abrasiva fine sugli elementi di marmo, per evidenziare le venature ed ottenere artificialmente un effetto anticato.

Con opportune regolazioni dell'impianto e l'uso di una graniglia abrasiva di taglia più grossa, è possibile ottenere una finitura della superficiale molto ruvida, la “bocciardatura”, che dona la proprietà antiscivolo sulle pietre naturali e sui manufatti in cemento come, per esempio, le pavimentazioni.



*Superficie bocciardata per pavimentazione*

### **L'utensile della granigliatrice: la graniglia**

L'utensile della granigliatrice è la graniglia; essa è costituita da un gran numero di particelle aventi caratteristiche omogenee. In base alla superficie che bisogna trattare e del risultato che si vuole ottenere, è necessario scegliere tra vari tipi di graniglia i cui parametri fondamentali sono: il materiale della graniglia, la forma, la dimensione, il peso specifico e la durezza.



*Graniglia abrasiva sferica metallica*

### **La forma delle graniglie**

Le graniglie possono avere delle forme diverse:

- a) sferica: le particelle di graniglia hanno una forma arrotondata con una superficie liscia, viene ottenuta da materiale fuso e per successiva solidificazione e granulazione.
- b) angolosa: le particelle di graniglia hanno una forma irregolare, la superficie è a spigoli vivi, rugosa o liscia, viene ottenuta per macinazione da particelle più taglia più grossa.
- c) cilindrica: le particelle di graniglia sono a forma di cilindro, di altezza pari al diametro della circonferenza di base; sono ottenute da filo di acciaio trafilato e tagliato.
- d) irregolare: le particelle di graniglia sono di forma molto variabile e quindi è difficile da definirsi; sono ottenute da frantumazione e successiva macinazione di graniglia sferica o cilindrica.

Le particelle che costituiscono la graniglia non hanno una dimensione costante, ogni particella ha una dimensione diversa, all'interno di una stessa graniglia è possibile comunque, individuare gruppi di particelle aventi una taglia simile o comunque di poco differenti. Per “dimensione” della graniglia non si intende quindi un valore preciso ed uniforme per ciascun “grano” di abrasivo ma di una distribuzione dimensionale chiamata con il nome di granulometria.

Per individuare la granulometria di una graniglia, un campione di peso noto, viene fatto passare attraverso una serie di setacci disposti secondo luci nette decrescenti. Ciascun setaccio tratterrà una parte in peso del campione iniziale da analizzare. Questo processo identifica la distribuzione dimensionale, cioè la granulometria.

La normalizzazione delle dimensioni delle graniglie (soprattutto quelle metalliche) gli enti normatori dei principali paesi si sono coordinati ed hanno individuato una serie di setacci aventi la luce netta della rete con dimensioni prestabilite secondo norme SAE.

Vengono così individuate, partendo dalla serie dei setacci “unificati”, le differenti classi granulometriche che individuano le diverse graniglie.

## Le graniglie metalliche

La graniglia metallica ottenuta da acciaio fuso, rappresenta la graniglia “universale” adatta per quasi tutte le applicazioni; per la granigliatura a turbina, per la sabbiatura ad aria compressa e per lo shot peening ed in generale, per il trattamento di ogni tipo di superficie.

Vengono prodotte da impianti fusori, partendo da materie prime selezionate, in forme diverse, sferiche, angolose e cilindriche, in varie gamme dimensionali e di durezza. Dopo la formatura, la graniglia viene trattata termicamente per conferire alle particelle abrasive una considerevole tenacità. Si tratta di un processo indispensabile per poter ottenere una velocità di granigliatura molto elevata ed al contempo una elevata durata dell'abrasivo.

Ogni singola applicazione necessita di un'accurata scelta della forma, della taglia e della durezza della graniglia. La qualità dell'acciaio con cui è realizzata la graniglia è fondamentale per realizzare il trattamento con il più elevato rendimento possibile. La graniglia metallica deve possedere un peso specifico superiore ai 7,5 g/cm<sup>3</sup>.

**Le graniglie sferiche** sono utilizzate in processi di granigliatura dove è necessario rimuovere la sabbia o la terra di formatura, nel decalaminaggio e nella sbavatura semplice o per la pallinatura o lo shot peening. La forma sferica, nell'impatto ha un effetto di “massa” con un elevato rimbalzo. Con essa si ottiene una rugosità minima ed attenuata ed i pezzi trattati hanno un aspetto più scuro che con l'abrasivo angoloso.

Le graniglie sferiche ad alto tenore di carbonio (High carbon) hanno una composizione chimica avente un contenuto di carbonio inferiore allo 0,85%, il fosforo e lo zolfo sono presenti in misura inferiore allo 0,05%, il manganese ed il silicio inferiori allo 0,60%. Questa graniglia ha una microstruttura costituita da **martensite rinvenuta** fine ed omogenea ed hanno una durezza variabile dai 46 ai 48 HRC.

Le graniglie sferiche a basso tenore di carbonio (Low carbon) hanno una composizione chimica avente un contenuto di carbonio inferiore allo 0,10%, il fosforo è inferiore allo 0,15%, lo zolfo è inferiore allo 0,015%, il manganese è inferiore allo 1,15% ed il silicio inferiori allo 0,15%. Questa graniglia ha una microstruttura bainitica ed hanno una durezza variabile dai 40 ai 46 HRC.

**Le graniglie angolose**, viene prodotta dalla frantumazione della graniglia sferica e sono utilizzate in nelle operazioni di sbavatura, decalaminaggio e nella preparazione delle superfici. Ha una composizione chimica in cui il carbonio è presente tra 0,50 e 0,80 %, il manganese è compreso tra lo 0,50 e 0,70%, il silicio è tra lo 0,10 e 0,50%, lo zolfo ed il fosforo sono inferiori allo 0,05%.

Ha un elevato potere abrasivo ed il suo uso comporta una elevata usura della granigliatrice con un conseguente maggior consumo di parti di ricambio.

La graniglia angolosa viene prodotta in tre diverse classi di durezza:

- **Classe di durezza da 43 a 48 HRC**; si presenta angolosa da nuova e diventa sferica durante l'uso. Con queste caratteristiche, l'effetto di taglio si unisce all'effetto di massa. Viene utilizzata soprattutto per la sbavatura e decalaminaggio.
- **Classe di durezza da 52 a 60 HRC**; è più dura rispetto alla classe precedente, durante l'uso gli spigoli si smussano ed ha un effetto principalmente di taglio e di rugosità; l'aspetto della superficie ottenuta è più chiara si utilizzano le granulometrie più fini. Viene utilizzata per le operazioni di sbavatura, decalaminaggio o per la preparazione delle superfici prima dell'applicazione di un rivestimento.
- **Classe di durezza superiore a 64 HRC**; è angolosa dura, viene usata per l'elevato potere abrasivo e di taglio; genera un profilo di rugosità frastagliato molto favorevole all'adesione di rivestimenti.

**Le graniglie in cilindretti**, dette “cut wire”, sono diverse dai tipi precedenti. Essa presenta una elevata regolarità granulometrica ed una omogeneità nella composizione chimica. Ogni grano ha le stesse dimensioni, gli stessi componenti chimici e le medesime caratteristiche fisiche di tutti gli altri grani della massa. Chimicamente ha un contenuto di carbonio tra 0,54 e 0,58%, la silice è tra 0,10 e 0,30%, il manganese è tra 0,5 e 0,70%, il fosforo è inferiore allo 0,020% ed lo zolfo è inferiore allo 0,025%.

Viene prodotta partendo da un filo di acciaio tagliato (cut wire) e rodato e successivamente trattato termicamente per conferirne la tenacità. Questo processo produttivo, assicura l'omogeneità dei suoi componenti chimici ed esclude la presenza di scorie ed impurità che sono deleteri ad i successivi processi di produzione. La graniglia in cilindretti (cut wire) ha dei vantaggi rispetto alle graniglie sferiche ed angolose, in particolare essa consente:

- una preparazione della superficie granigliata in modo ottimale
- una riduzione del tempo di granigliatura
- un consumo di energia inferiore a parità di trattamento
- un minore consumo delle parti di ricambio della granigliatrice
- una minore formazione di polvere e di detriti

### **Le graniglie minerali inorganiche**

La graniglia minerale inorganica viene utilizzata per ottenere una particolare finitura della superficie da trattare oppure anche per lo shot peening ed esaltare le caratteristiche di resistenza meccanica dei pezzi trattati. Il materiale abrasivo è generalmente di dimensioni estremamente fini, in forma di microsfele quasi simile a polvere o a sabbia. I materiali abrasivi più usati sono: corindone, vetro in microsfele, carburo di silicio, materiali ceramici, ecc...

**La graniglia di corindone**, altro non è che ossido di alluminio, ha una elevata resistenza all'usura ed all'impatto. E' utilizzato per trattamenti di pallinatura e di sabbiatura oltre che pulizia. Il corindone è in forma di grano spezzato con una superficie ruvida, questo determina un'elevata asportazione sulla superficie del pezzo ma anche una incisione della superficie stessa.

Essendo un materiale inerte, non contiene silice libera e, durante l'uso, non rilascia componenti pericolosi in atmosfera. Se la granulometria dei corindoni viene accuratamente controllata, è possibile avere ottimi risultati di trattamento, costanti e ripetuti nel tempo.

Solitamente è di colore bianco, permette elevati risultati di finitura con le superfici trattate perfettamente pulite, pronte per le successive lavorazioni, grazie alla sua elevata purezza e all'assenza di impurità contaminanti. L'abrasivo di corindone può essere utilizzato sia nelle granigliatrici ad aria compressa che in quelle a turbina, a seconda del tipo di trattamento, si possono ottenere i seguenti risultati:

**Finitura superficiale** particolare quali eliminazione delle asperità di lavorazioni meccaniche, riduzione della rugosità, lucidatura e lappatura, sbavatura e pulitura, finitura superficiale antiriflesso, finitura superficiale opaca (satinatura), decorazioni particolari, smerigliatura, disossidazione superficiale, eliminazione della ruggine e preparazione alla verniciatura.

**Pallinatura** controllata (shot peening) per incrementare la resistenza alla fatica ed al taglio di particolari sottoposti a sforzi ciclici; oppure permette di ottenere dimensioni esatte su superfici che devono garantire una tenuta idraulica.

Il corindone viene prodotto in una ampia gamma granulometrica, si va dalla taglia 220 con una dimensione delle particelle da 53 a 75 microns, fino al corindone di taglia 010 con una dimensione delle particelle da 2000 a 2360 microns.

Si tratta di un tipo di abrasivo molto versatile ma con un elevato costo della materia prima e questo ne limita fortemente l'uso solo dove è strettamente necessario.

**La graniglia in microsferi di vetro** viene usata nel campo della finitura superficiale e della pallinatura controllata dove è necessario ottenere i seguenti risultati:

- è in grado di rendere levigata la superficie trattata
- è un abrasivo inerte cioè è esente da silice libera
- ha una elevata resistenza all'usura
- non abrada lo strato superficiale
- non lascia dei residui di lavorazione
- limita o ritarda la formazione di cricche di corrosione e fatica, conferiscono alla superficie trattata una elevata resistenza alla compressione

Le dimensioni delle microsfere abrasive sono diverse ed hanno diverse caratteristiche di impatto, producendo diversi effetti di pallinatura:

1) microsfere di vetro cristallo di grandi dimensioni:

- rimozione di contaminanti pesanti e di grosse dimensioni
- minore energia di impatto per chilo di abrasivo lanciato, “pulisce” più lentamente
- pallinatura ad un più elevato livello di intensità
- le dimensioni “importanti” non consentono di raggiungere zone piccole
- origina una finitura più brillante rispetto a quella ottenibile con microsfere più piccole ed alla stessa concentrazione
- ad una data pressione di lavoro, si consumano più rapidamente rispetto alle microsfere più piccole ma, riducendo la pressione, si consumano molto meno

2) microsfere di vetro cristallo di piccole dimensioni:

- elevata rimozione di contaminanti piccoli e leggeri
- impatto per chilo di abrasivo lanciato superiore, effetto di pulizia più rapido
- pallinatura ad un livello meno intenso
- le dimensioni inferiori permettono di raggiungere zone molto piccole
- generano una finitura più opaca rispetto a quella ottenibile con microsfere più grandi a parità di concentrazione
- ad una data pressione di lavoro, si consumano più lentamente rispetto alle microsfere più grandi, ma aumentando la pressione invece, si consumano molto più rapidamente

Le microsfere di vetro di taglia più piccola sono le più indicate per la rimozione di impurità piccole e permettono di pulire angoli e fessure; in caso di scorie di grandi dimensioni si rende necessario l'impiego di microsfere con una maggiore granulometria le quali esercitano una forza di impatto maggiore.

**La graniglia in carburo di silicio** è una miscela di carbonio e silicio (SiC) ed è stato creato verso la fine del 1800 per trovare un minerale abrasivo più performante rispetto all'ossido di alluminio. Si tratta di un minerale estremamente duro ma fragile (9.5 scala mohs, quindi vicino al diamante). Questa fragilità lo rende adatto esclusivamente per la lavorazione di materiali più fragili di lui quali il vetro, la ceramica, le materie plastiche, la ghisa e il bronzo.



*Graniglia in carburo di silicio*

**La graniglia in materiali ceramici** sono il tipo di abrasivo più performante attualmente disponibile. Altro non è che un'evoluzione del minerale di corindone, quest'ultimo viene sottoposta a macinazione e ridotto in una polvere estremamente fine (siamo nell'ordine del millesimo di millimetro). Viene poi ricompattata e sottoposta ad un processo di sinterizzazione in un forno a circa 1300 °C. Il solido che si ottiene viene quindi nuovamente frantumato e si ottiene il grano abrasivo della dimensione voluta. Il risultato è un minerale avente una durezza comparabile al corindone di partenza, ma con una struttura interna molto uniforme. Questa uniformità strutturale gli consente di consumarsi in modo ottimale durante il processo di abrasione, rendendolo la scelta migliore per lavorazioni su materiali difficili quali acciai inossidabili e legati e per forti asportazioni di materiale.



*Graniglia di materiale ceramico*

### **Le graniglie di materiale organico**

Sono graniglie ottenute da materiali di origine vegetale, generalmente sono ottenuti dalla frantumazione e macinazione di gusci di noci, noci di cocco, noccioli di pesca e albicocca, tutolo di mais, legna e segatura. A causa dell'origine vegetale della materia prima e della lavorazione di frantumazione necessaria per la riduzione alle dimensioni di grano.

Si presenta nell'aspetto di una graniglia angolosa e viene utilizzata soprattutto per la lucidatura ma anche per l'asportazione di vernici e rivestimenti su materiali "delicati" quali legno, ottone e alluminio.

Sono una categoria di materiali abrasivi estremamente sicuri; essi non creano polveri tossiche per l'organismo durante il loro utilizzo, si tratta di un tipo di granigliatura "ecologica" che non crea problemi di salute all'operatore. I grani di origine vegetale sono molto elastici e non si frantumano durante l'impatto con la superficie da trattare. Questo li rende riutilizzabili più volte e risultano indispensabili in quei casi dove la normale granigliatura con media metallici o minerali, provocherebbe dei danni irreparabili.

Per granigliare con l'abrasivo di origine vegetale, si utilizza un normale impianto di granigliatura ad aria compressa, in quanto non necessita di particolari equipaggiamenti per



l'operatore perché non c'è il problema dei granuli inerti di silice che possono causare la silicosi. Si utilizza soprattutto per:

- tavole in legno e travature da pulire da calcinacci.
- asportazione di vernici e rivestimenti.
- rimozione della patina che assume il legno nel corso degli anni.
- levigare in modo omogeneo ed evidenziare le venature del legno.
- sverniciare e pulire lo scafo di imbarcazioni in legno e vetroresina.
- pulizia e lucidatura di metalli delicati quali l'alluminio e ottone.

Un impianto tipico ad aria compressa che utilizza abrasivi di origine vegetale (abrasivo organico) deve essere corredato da un compressore d'aria dalla portata di 3500/4000 litri al minuto in grado di fornire una pressione continua massima fino a 7 atm.

Si possono usare ugelli da un diametro da 4 mm fino a 9mm e la pressione di uscita dell'aria può variare dalle 5 atm fino a un massimo di 7 atm. La granigliatura può essere effettuata in modo più o meno marcato, da cui ne consegue che il consumo di prodotto dipende dal tipo di finitura che si vuole ottenere.

L'uso di graniglia abrasiva organica vegetale presenta i seguenti vantaggi:

- è un materiale abrasivo duro ma elastico (4,5 gradi della Scala Mohs);
- la graniglia è pulita con assenza di polveri ed biodegradabile;
- non provoca scintille durante l'impiego;
- non danneggia la meccanica delle sabbiatrici;
- non vi sono problemi di smaltimento, essendo un prodotto vegetale può essere smaltito o riciclato come rifiuto urbano;
- ha un elevato potere assorbente di liquidi, la struttura alveolare delle celle dei granuli, può assorbire ed asportare molto rapidamente le sostanze inquinanti rendendo il processo di pulitura molto rapido;
- sono riciclabili e riutilizzabili.

Tuttavia, gli abrasivi di materiale organico, a causa della loro origine vegetale, possiedono delle criticità se usati negli impianti a turbina. L'urto dei grani di abrasivo sulle palette della turbina, prima di essere accelerati, ne provoca la rottura in dimensioni estremamente variabili e non determinabili a priori.

Questo effetto indesiderato, li relega all'utilizzo nelle granigliatrici ad aria compressa per la pallinatura mentre con le turbine possono essere usati limitatamente in processi di lucidatura o di sabbiatura.

## LA GRANIGLIATURA NEL SISTEMA INTERNAZIONALE

**Le graniglie metalliche in acciaio fuso** sono state classificate ed identificate nella norma *SAE J444 – Cast shot and grit size specifications for peening and cleaning*. Il metodo di classificazione delle graniglie, secondo la norma indicata, prevede:

- una serie di 20 setacci.
- 14 classi granulometriche di graniglie sferiche.
- 12 classi di graniglie angolose.

Ciascuna classe granulometrica viene individuata da quattro setacci:

- **il setaccio superiore:** è il setaccio attraverso il quale passa il 100% della graniglia (residuo 0);
- **il setaccio superiore ausiliario:** è il setaccio attraverso il quale deve passare almeno tra il 90% e il 95% della graniglia (viene ammessa una piccola quantità di graniglia tra i due setacci);
- **il setaccio nominale:** è quello che definisce la classe granulometrica, cioè la dimensione fondamentale; di solito è prescritto che almeno il 90% della graniglia sia maggiore della luce del setaccio stesso, le graniglie più difficili come quelle angolose, sono tollerate con percentuali inferiori (circa 70-80%);
- **il setaccio inferiore:** è quello che definisce la dimensione della graniglia al di sotto della quale essa è ritenuta fuori misura o quasi e quindi indesiderata; a seconda della minori o maggiori difficoltà di setacciatura, se ne tollera un massimo del 3-10% per le sferiche e tra il 10-35% per le angolose.

Per la designazione si usano i seguenti metodi:

graniglie sferiche: lettera S + dimensioni in pollici del setaccio nominale x 1000.

graniglie angolose: lettera G + numero identificativo del setaccio nominale.

### Applicazione di rivestimenti e preparazione delle superfici

Prima di applicare un qualsiasi rivestimento ad una superficie, è necessario che quest'ultima sia adeguatamente preparata. Affinché il rivestimento aderisca al meglio e sia resistente nel tempo, è necessario, infatti, che la superficie abbia le caratteristiche seguenti:

- a) totale assenza di contaminanti
- b) corretto valore di rugosità superficiale

Mediante il processo di granigliatura si possono ottenere, contemporaneamente, entrambe i risultati, l'importante è scegliere la granigliatrice adatta e l'abrasivo corretto.

**L'azione di pulizia** della superficie consiste nell'eliminazione della maggior parte dei contaminanti, lasciandone sussistere solamente delle tracce. Le principali sostanze estranee che devono essere eliminate da una superficie metallica sono generalmente: scaglie di laminazione, ossidi formati a freddo per corrosione, residui di saldature o brasature.

Abbiamo chiamato la graniglia come l'utensile della granigliatrice che permette la pulizia della superficie dei pezzi da trattare ma non è la graniglia nuova. È in realtà quella che si viene a formare come miscuglio operativo, quasi sempre molto diverso di aspetto dalla graniglia nuova e che rappresenta un equilibrio nel quale sono compresi tutti gli stadi di trasformazione, di fatica e di usura dei granuli. I tre aspetti fondamentali del miscuglio operativo sono: la dimensione, la forma e la resistenza dei grani che lo compongono.

### **Ripartizione granulometrica**

La ripartizione granulometrica altro non è che la miscela operativa, per meglio capire l'importanza di questa ripartizione, bisogna spiegare come funziona il meccanismo di “attacco” allo strato di sostanze estranee che per comodità chiameremo “contaminante”.

I grani di dimensione vicina a quella iniziale (o nominale) devono poter “bucare” al primo impatto lo strato di contaminanti ma senza esagerare troppo in energia che verrebbe perduta nella deformazione della superficie metallica con il rischio di conficcarsi nella superficie di contaminanti o, peggio, incidere la superficie del pezzo in maniera tale da rovinarne la superficie anziché pulirla.

L'azione di pulizia è una operazione congiunta; il flusso di grani di dimensioni più grossa deve riuscire ad eliminare la parte superiore del “contaminante” lasciando però degli “isolotti” di spessore ridotto che devono essere bucati ed asportati a loro volta dai grani di dimensione più piccola.

La parte di questi grani, di media granulometria, deve riuscire a formare degli isolotti più piccoli ma più numerosi che saranno a loro volta attaccati da grani ancora più fini. In definitiva, sarà il gran numero di grani molto fini ad assicurare la rifinitura.

L'esperienza insegna che la ripartizione che permette la migliore efficacia alla miscela operativa consista in un 40 ÷ 50% in peso di grani delle dimensioni nominali iniziali, e, per la restante parte di percentuale in peso, di grani con dimensione progressivamente decrescenti fino ad un quarto della dimensione nominale.

Il mantenimento di questo equilibrio, oltre che dalla qualità della graniglia, dipende da tre fattori principali:

- una regolare periodicità delle addizioni di graniglia nuova in funzione dell'usura stessa,

- la regolazione dell'impianto di depurazione della graniglia,
- la riduzione delle perdite (aspirazione, tenuta stagna degli impianti, trascinamento di graniglia fuori dalla cabina o impianto di sabbiatura tramite le strutture sabbiate) ed il riciclaggio delle graniglie uscite dal circuito ma ancora utilizzabili.

A seconda della forma iniziale nei grani, della loro durezza, fragilità, resilienza, al vari stadi della loro usura, avranno nel miscuglio operativo delle forme diverse: sferiche, a superficie liscia o arrotondata, con delle piccole asperità o piramidali, con spigoli vivi o più o meno smussati.

In conseguenza di queste varie forme si avranno diversi effetti di urto al momento dell'impatto sulla superficie da granigliare:

- effetto di martellamento nel caso di grani sferici o rotondi che sono i più adatti per attaccare uno strato duro,
- effetto di “raspa” nel caso di grani con piccole asperità che staccano più facilmente gli strati inferiori più o meno porosi “grattando” la superficie metallica,
- effetto di taglio più o meno netto che permette di lacerare gli strati spugnosi.

In base alla natura del contaminante, si sceglierà la graniglia in funzione di uno di questi effetti oppure una combinazione di questi con l'impiego di diversi tipi di graniglia. In questo modo, certi tipi di calamina potranno essere attaccati con la massima efficacia da un miscuglio di graniglia sferica e angolare, la prima per rompere la crosta dura superiore, la seconda per spezzettare, lacerare lo strato inferiore spugnoso.

Esaminando la singola particella di abrasivo che colpisce lo strato da trattare, bisogna considerare il grano che si deforma, pere di efficacia perché una parte della sua energia viene assorbita dalla deformazione: L'assenza di deformazione all'urto, nelle condizioni medie di granigliatura, richiede una durezza minima di 450 HV.

Dopotutto anche un grano estremamente duro e che si frantuma nell'urto, ha una efficacia molto limitata in quanto anche la frammentazione assorbe energia. Risulta quindi necessario che il grano abbia la maggior resistenza all'urto o resilienza possibile compatibilmente con la sua durezza. L'effetto di un urto sul grano deve restare localizzato per permettere una diminuzione progressiva della dimensione per distacco di una pellicola fortemente martellata. Se l'effetto dell'urto si propaga nella massa, questa si affatica interamente in modo uguale ed il grano si distrugge completamente in un solo urto.

## Gradi di sabbiatura

Il grado di sabbiatura è un numero di riferimento indicativo della percentuale di eliminazione di contaminanti, come ad esempio ruggini o residui di calamina, effettuata sulla superficie metallica. La classificazione secondo la norma svedese **SIS055900-1967/ISO 8501-1** ancora oggi in uso, definisce i vari gradi di sabbiatura:

**Sa 3 sabbiatura di prima qualità o a metallo bianco:** il processo permette di ottenere una superficie di aspetto uniforme e di colore grigio/bianco metallico con la totale asportazione di tutti i residui di corrosione, di sfridi e scaglie di laminazione, di tracce di verniciatura e di ogni impurità presente sulla superficie. La ruvidità ottenuta sulla superficie, permette il miglior ancoraggio possibile di vernici o di rivestimenti applicati successivamente.

**Sa 2,5 sabbiatura di seconda qualità o a metallo quasi bianco:** il processo permette la quasi totale asportazione delle impurità sulla superficie metallica quali ruggine, vernice, calamina, sporcizia, ad esclusione di alcune leggere ombreggiature, venature o scolorimenti leggeri a causa di macchie di ruggine, calamina ossidata o residui di rivestimenti protettivi o vernici particolarmente aderenti.

**Sa 2 sabbiatura di terza qualità o sabbiatura commerciale:** questa lavorazione permette di ottenere una buona sabbiatura ma non perfetta. Solitamente vi è l'asportazione di tutta la ruggine, calamina ed altre contaminanti dalla superficie metallica. Per quanto riguarda il grado di pulizia, non si ottiene una superficie dall'aspetto uniforme perché se, le condizioni iniziali della superficie metallica presentano differenze, queste influiscono sul risultato finale. Il processo permette comunque di ottenere una ruvidità superficiale adatta ad una salda adesione di strati di vernice o di rivestimenti protettivi successivi al trattamento. La superficie del metallo presenterà una colorazione grigio medio.

**Sa 1 sabbiatura grossolana:** viene detta anche spazzolatura, il processo permette l'asportazione di scaglie libere di ruggine ed ossidi di laminazione, di vernici e di rivestimenti. Possono comunque rimanere sulla superficie dei residui di contaminanti ma che, dato il trattamento di sabbiatura, permettono comunque una buona aderenza alla successiva verniciatura o applicazione di rivestimenti protettivi.

## Ottenere la giusta rugosità

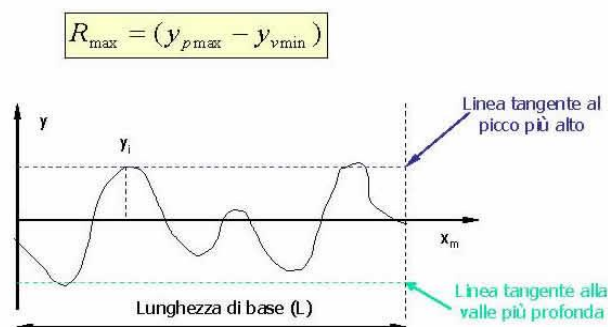
Se per certi tipi di rivestimenti soprattutto applicati in bassi spessori, il grado di pulitura è il fattore principale, nella maggior parte dei casi, per avere un'adeguata aderenza si deve determinare sulla superficie metallica anche una opportuna rugosità, intesa come forma e profondità del profilo.

Come aspetti di cui tenere conto nella modifica della rugosità della superficie sono essenzialmente due:

- un aspetto meccanico: aumentando la superficie di contatto tra il metallo del il rivestimento successivo, in rapporto alla superficie iniziale, si aumenta ugualmente la forza necessaria allo strappamento del rivestimento per unità di superficie.
- un aspetto granulometrico: le asperità devono avere una forma tale da trattenere al meglio il film di rivestimento ma anche una certa regolarità per evitare che certi picchi non spuntino attraverso la successiva pellicola protettiva.

I crateri devono avere forme e profondità tali che il rivestimento sia in contatto in tutti i punti con la superficie metallica, senza formazione di piccole bolle d'aria che costituirebbero inneschi di corrosione o di distacco del film protettivo. Questa rugosità di superficie di cui la profondità, il passo e la forma devono essere in funzione del tipo di rivestimento e del tipo di applicazione dello stesso, è il profilo di ancoraggio (detto anchor pattern).

La determinazione del tipo di rugosità che si deve ottenere per un dato rivestimento e in determinate condizioni di applicazione è una questione di esperienza ma anche di buon senso. Nel caso in cui la rugosità voluta sia ottenuta attraverso la granigliatura, occorre che il processo venga scelto in modo accurato e conveniente in funzione delle condizioni di granigliatura (sistema di proiezione dell'abrasivo; turbina o aria compressa) sia in funzione della natura della superficie metallica (durezza, forma, spessore)



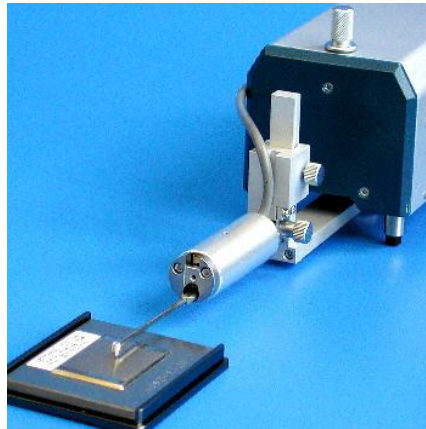
L'unità di misura per quantificare la rugosità è il micron ed il **rugosimetro** è lo strumento che testa la misurazione. La totalità delle irregolarità rilasciate dal processo di granigliatura o di shot peening definiscono la rugosità. Per definire la rugosità si usano i seguenti parametri:

**Ra: rugosità media**, è la media aritmetica misurata sul tratto campione, di tutte le creste e le valli in valore assoluto (vedi figura sopra), il grafico dimostra come viene misurata la rugosità media.

**Rmax o R1**, è il massimo scostamento (distanza) misurato sul tratto campione tra la cresta più alta e la valle più profonda.

**R2**, è la media aritmetica tra le 5 creste maggiori e le 5 valli più profonde misurate lungo il tratto campione.

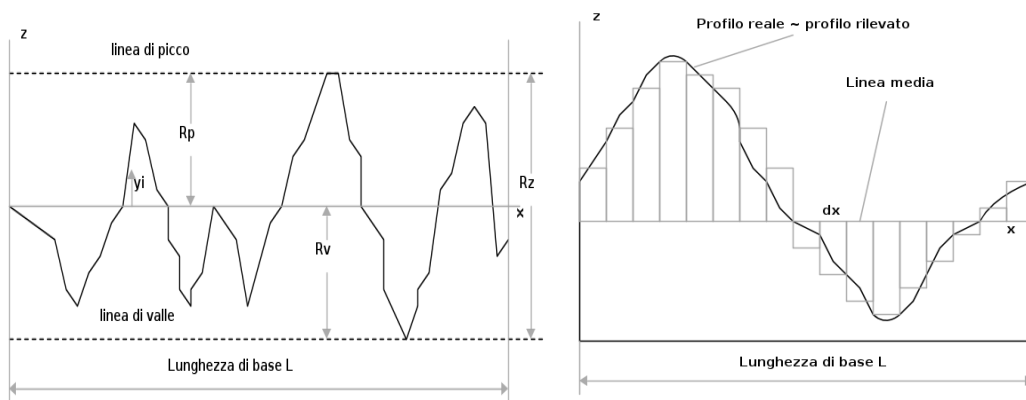
Le modalità di rilievo e di interpretazione dei dati sono indicate nella **norma ISO 4288**.



*Rugosimetro*

Il **rugosimetro**, detto anche **profilografo** o **profilometro**, è un apparecchio volto a misurare la rugosità delle superfici lavorate. L'esplorazione della superficie in questione avviene grazie ad una piccola **asta metallica**, alla cui estremità è montato un **microtastatore** di diamante, generalmente di forma conica, il cui vertice è raccordato con raggio uguale a  $5\ \mu\text{m}$ . La puntina esploratrice è guidata da un elemento in carburo di tungsteno, detto **pattino**, il quale poggia e scorre sulla superficie in questione in modo tale da fornire un riferimento efficiente per la misurazione della rugosità.

Il movimento della punta del tastatore provocano una variazione di induttanza in un apposito circuito e quindi della relativa corrente: questa variazione, che viene amplificata e valutata in modo opportuno, viene trasmessa ad un **registratore grafico** o ad un **display digitale** che fornisce il valore della rugosità media  $R_a$  della superficie. I modelli più perfezionati sono collegati ad un computer in modo tale che sia possibile visualizzare la ricostruzione assonometrica della superficie rilevata.



Suddividendo il grafico in piccole aree verticali, ogni rettangolino ha un'area pari a  $zdx$ , considerando le deviazioni  $z$  nei valori assoluti, la somma delle aree di questi rettangoli è espressa dall'integrale:

$$\int_0^L |z| dx$$

Esso rappresenta l'area del rettangolo con base  $L$  e altezza  $Ra$ . Quindi la formula più precisa che permette di definire la rugosità è:

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx$$

Il rugosimetro, misura il parametro  $Ra$ , su di una lunghezza solitamente maggiore rispetto alla lunghezza base  $L$ , anche detta *lunghezza di esplorazione*. In questo caso, la rugosità  $Ra$  si definisce come il valore medio delle misure sulle diverse lunghezze base  $L$  consecutive lungo il profilo. Viene definita come **rugosità di superficie  $Ra$** , il massimo valore misurato di  $Ra$  tra quelli rilevati su diverse zone di “esplorazione”.

Se, per esempio, consideriamo quella linea di picco parallela alla linea media e passante per il punto più alto del profilo, e quella linea di valle parallela alla linea media e passante per il punto più basso del profilo, si definiscono come parametri da considerare per definire la rugosità, la massima altezza di picco  $R_p$  e la massima profondità di valle  $R_v$  come la misura della distanza dalla linea media delle linee di picco e di valle.

L'altezza massima del profilo  $R_z$  è la distanza tra le linee di picco e di valle. Altri parametri di rugosità sono  $R_c$ , che è la media tra i valori assoluti dei picchi e delle valli, e che sarebbe il valore quadratico medio delle ordinate del profilo,  $R_q$ .

Nella preparazione della superficie intesa come irruvidimento della stessa, per creare la rugosità la graniglia lavora per aumentare sensibilmente la superficie di contatto e creare delle asperità di forma tali da poter assicurare un buon ancoraggio meccanico del rivestimento. Come nel caso della pulitura, abbiamo bisogno di un “miscuglio operativo” cioè di un'azione combinata di grani di dimensioni diverse, a volte di forme e durezza differenti.

Anche qui troviamo sempre i tre effetti principali di urto, di taglio più o meno acuto e di raspo o asportazione, ma questa volta i lavori si esprimono nel substrato con un respingimento del metallo, accompagnato da taglio più o meno netti, da graffiature con strappi più o meno pronunciati.

Le perdite per strappamento superficiale possono essere nulle, deboli o non trascurabili in funzione dell'abrasività della graniglia e delle caratteristiche del metallo base.



L'effetto di una graniglia sferica liscia si esprime con un “respingimento” semplice, con un cratere di forma rotondeggiante la cui profondità ed il diametro, dipendono dalla percentuale di energia cinetica assorbita dalla deformazione della superficie nell'impatto. Una graniglia dura e resistente avrà una maggiore penetrazione rispetto ad un grano più dolce che, deformandosi, forma un cratere meno profondo. Gli urti che si susseguono daranno una superficie ondulata con gobbe e conche relativamente tondeggianti..

L'effetto di una graniglia sferica a superficie rugosa, che altro non è che la graniglia angolare che si arrotonda durante il lavoro, darà più o meno la stessa forma concava ma con dei micrograffi alle pareti dovute alle asperità del grano. Una graniglia angolare smussata darà dei crateri più stretti ma con il fondo tondeggiante e le pareti graffiate dalle microasperità. La successione degli urti darà dei picchi e delle valli alla superficie.

Una graniglia angolare dura a spigoli vivi, produrrà un taglio netto, cioè un cratere relativamente appuntito verso il basso; la profondità e l'angolo delle pareti del cratere, dipendono dalla percentuale di energia cinetica assorbita dal substrato e cioè dalla resistenza del grano: un grano fragile, si frammenta e darà un cratere più aperto e meno profondo, un grano solido che penetra senza rompersi, darà un cratere più stretto e più profondo..

Questi sono, a grandi linee, i tipi di strutture superficiali (rugosità) che si possono ottenere con un processo di granigliatura, ma sono possibili molteplici incroci, mescolando tipi diversi di graniglie e variandone le proporzioni oltre che sulla ripartizione granulometrica della miscela operativa.

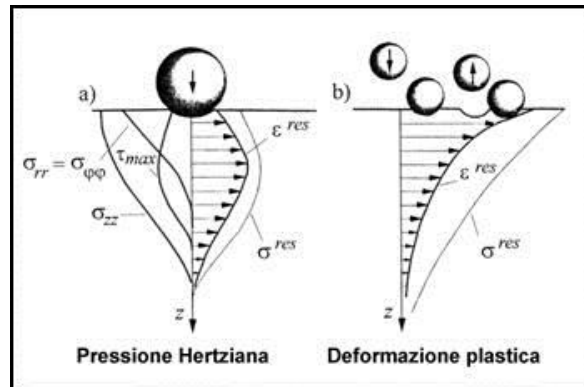
Le operazioni di pulizia ed irruvidimento della superficie si eseguono in genere contemporaneamente nello stesso impianto tenuto conto delle caratteristiche dell'impianto di sabbatura disponibile. La scelta della graniglia o della miscela di graniglie, nasce dunque dal compromesso tra le diverse esigenze dei due lavori richiesti. In questo compromesso, assume una importanza predominante la qualità della struttura, la rugosità superficiale che si vuole ottenere.

Se diverse soluzioni permettono di ottenere dei risultati tecnici equivalenti, la scelta allora si sposta sul piano economico, in favore di quella meno cara, tenendo ben presente l'opportunità di una relativa flessibilità di produzione dell'impianto.

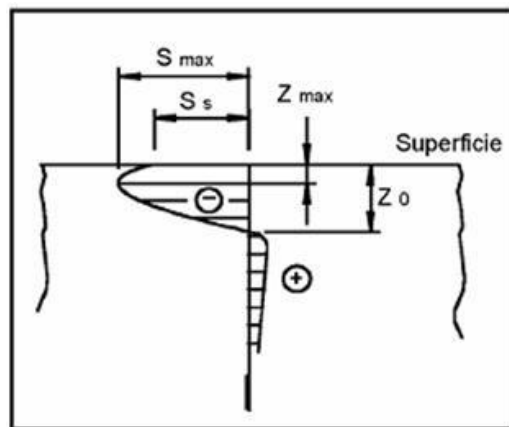
Posso scegliere tra un impianto molto economico per la mia produzione ma che mi permette di fare solo quello, oppure, posso scegliere un impianto più flessibile e che, anche se un più costoso, mi permette una flessibilità operativa maggiore, permettendomi produzioni diverse.

## La tensione residua

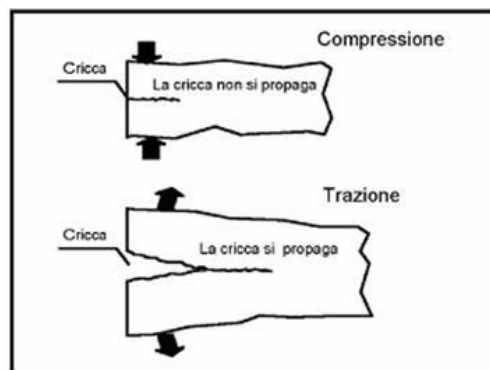
La tensione residua è la nascita di tensioni interne alla struttura della materia del pezzo trattato, provocate dall'impatto della graniglia sulla sua superficie e può essere descritta da due fenomeni:



- l'urto dei pallini causano l'impronta e l'allungamento degli strati superficiali del pezzo,  
 - la pressione herziana causa la **plasticizzazione** degli strati sub-superficiali del pezzo.  
 La proporzione volutamente marcata dell'uno o dell'altro fenomeno dà origine ad una distribuzione di tensioni residue (di compressione), come mostrato nella figura seguente.



Lo stato tensionale derivante dalla pallinatura viene a sovrapporsi a quello derivante dai carichi esterni alla stregua di una tensione media di compressione ritardando o rendendo impossibile il propagarsi della cricca, come mostrato nella figura seguente.



Per un miglior controllo del processo e per una applicazione più rigorosa dei metodi appena accennati, è possibile misurare le tensioni residue introdotte dalla pallinatura. I metodi, che sono diversi, consentono una misura di questo tipo. La diffrazione a raggi X è certamente il più affidabile per questa verifica. La misura superficiale non è di tipo distruttivo, mentre lo diventa qualora si effettuino le misure in profondità.

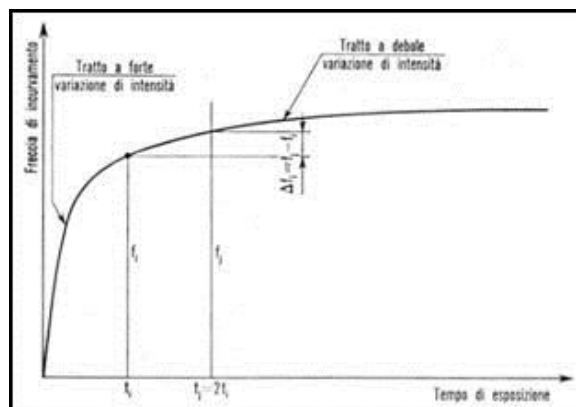
### Il controllo del processo, intensità e copertura

**L'intensità** è un parametro funzione della velocità, durezza, dimensioni e peso dei proiettili e dell'angolo che forma la superficie pallinata con il flusso di proiettili incidenti. È la caratteristica utilizzata per valutare l'effetto del trattamento, essa viene prescritta in base alla natura del pezzo da trattare ed ai requisiti ad esso richiesti. Le misure di intensità vengono condotte su una sottile lamina ottenuta da nastro di acciaio C 70 (UNI 3545-68) lamina a freddo, temprato e rinvenuto con durezza HRC di 44-45, chiamata Almen, che viene vincolata ed esposta ad un flusso di proiettili per un tempo necessario per arrivare a saturazione. Quando il campione viene rimosso dal vincolo, esso è deformato ed incurvato per effetto delle deformazioni plastiche superficiali. La curvatura assunta dalla lamina in acciaio è una misura dell'intensità Almen, che viene espressa come freccia dell'arco che tale lamina forma.

Si assume come valore dell'intensità di pallinatura caratteristica del getto quello corrispondente alla freccia  $f_i$  definita dalla relazione:

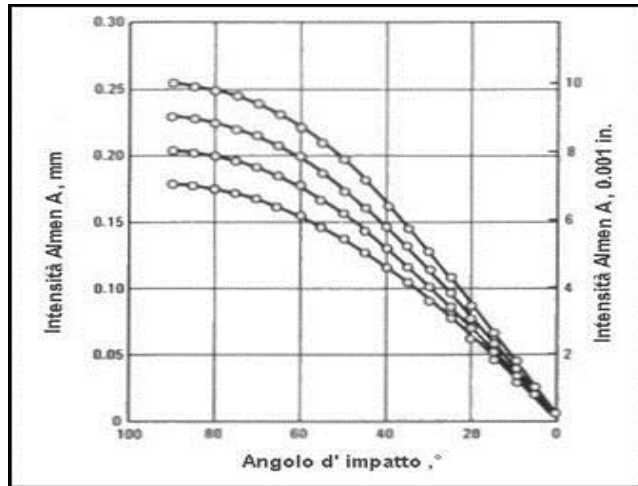
$$Df_i = f_j - f_i = 10\% f_i$$

dove  $f_j$  è il valore ottenibile raddoppiando il tempo di esposizione ( $t_j = 2 t_i$ , vedere la figura sotto). In pratica si ritiene che la freccia  $f_i$  ricada immediatamente al di sopra del ginocchio della curva. Per una buona efficacia e riproducibilità della pallinatura, i pezzi devono essere sottoposti a tale operazione per un tempo almeno uguale a quello necessario per realizzare l'intensità caratteristica sopra definita.



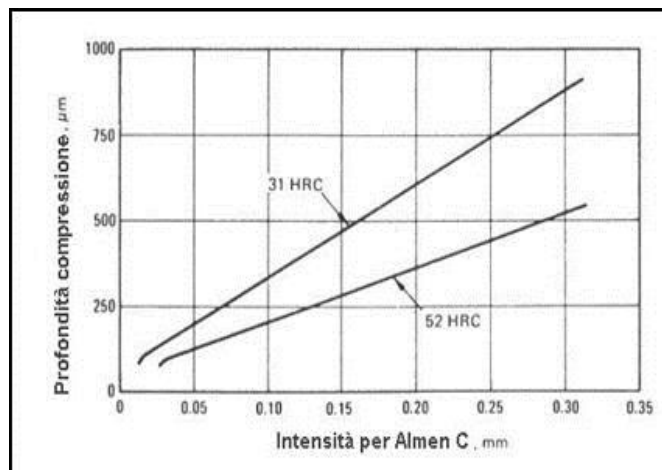
*Intensità di pallinatura caratteristica del getto (o curva di saturazione)*

L'angolo con cui i pallini vanno ad impattare sul pezzo può variare da 90° a 40°; la condizione di massima intensità si avrà con 90°, diminuendo con l'ampiezza, l'intensità varierà con il seno dell'angolo di incidenza.



*Intensità di pallinatura in funzione dell'angolo d'impatto*

Se la superficie del componente ha una durezza eccessiva, per pallinarlo bisogna aumentare la velocità e il diametro dei pallini; però non si possono superare certi valori se non si vogliono avere degli effetti indesiderati.



*Relazione tra la profondità di compressione e l'intensità di pallinatura con due tipi di graniglia d'acciaio di durezza differente*

Se l'intensità è troppo elevata, la profondità dell'impronta sulla superficie è eccessiva e si crea uno sforzo residuo di trazione sotto di essa. Questo può portare, in profondità alla formazione di cricche con livelli di stress inferiori rispetto a quelli a cui si formerebbero nel pezzo non pallinato.

Il massimo sforzo indotto in un materiale, dovuto a shot peening è una funzione della pressione con cui viene sparato il pallino e del tempo di esposizione al trattamento. Può raggiungere un limite superiore nonostante il valore di questi due parametri, è ragionevole assumere che questo limite venga raggiunto in modo asintotico.

**La copertura** è un parametro che misura l'estensione dell'area colpita dalla miriade di proiettili che vanno ad urtare contro l'area stessa, è il rapporto percentuale tra la superficie realmente improntata dai pallini e la superficie totale da pallinare.

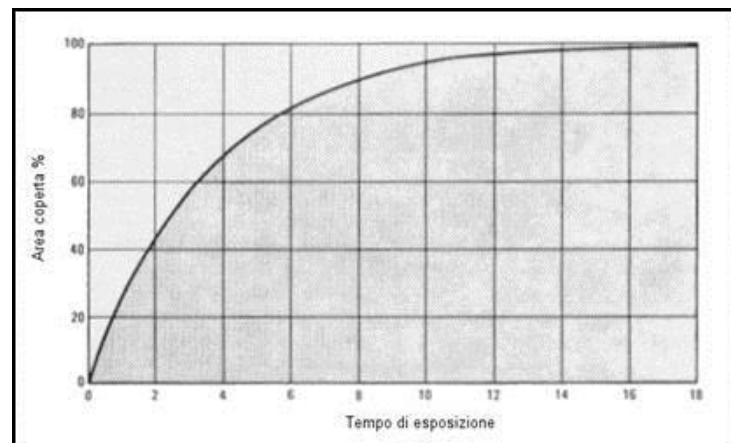
Il controllo della copertura si effettua in corrispondenza dei punti critici, in relazione all'impiego del pezzo pallinato mediante osservazione con ingrandimento della superficie pallinata.

È fondamentale ottenere coperture prossime al 100%, o saturazione, affinché si possano rilevare miglioramenti nella vita a fatica di un componente.

Esiste una relazione che lega la copertura alla durata del trattamento. Tale relazione è espressa dalla equazione seguente:

$$C_n = 1 - (1 - C_1)^n$$

Dove  $C_1$  è la copertura percentuale dopo un ciclo di trattamento,  $C_n$  è la copertura percentuale dopo  $n$  cicli. Si ritiene normalmente adeguata una copertura di circa il 98%, mentre al di sotto di questo valore la pallinatura è generalmente considerata inefficace (UNI 5394-72).



*Percentuale di area coperta in funzione del tempo di esposizione*

Per la misura dell'intensità di pallinatura, è stata ideata la prova Almen, dal nome del suo ideatore John Almen; essa misura e verifica l'intensità di pallinatura grazie ad appositi provini unificati, su tre scale differenti:

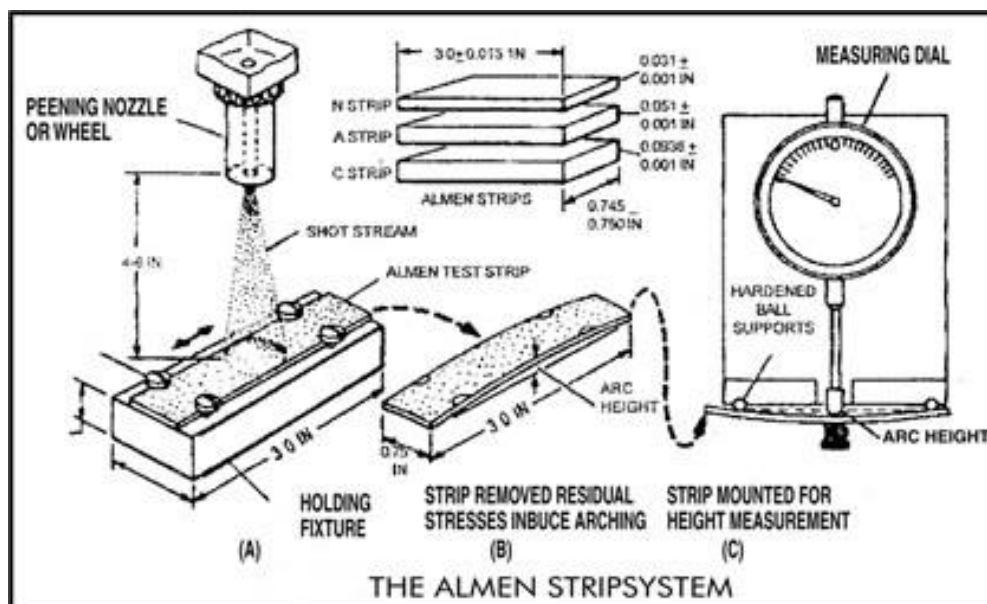
- **Almen N**, per intensità debole (shot peening con sfere di vetro o ceramica).
- **Almen A**, per intensità media (shot peening con sfere di acciaio).
- **Almen C**, per intensità forte.

Ognuna delle tre scale, prevede l'uso di un provino, realizzato in lamiera d'acciaio di spessore e lunghezza diversa ed avente una durezza di 45 HRC. Si fissa il provino su un supporto e lo si sottopone al trattamento di pallinatura dove viene ad assumere una curvatura convessa sulla faccia colpita dai pallini. L'inflessione ottenuta sul provino è direttamente dipendente (è una funzione) dal tempo di esposizione secondo una curva detta "Curva di Saturazione".

Le prove evidenziano che, nel primo tratto l'inflessione della freccia aumenta velocemente con il tempo di esposizione alla pallinatura, poi il fenomeno si attenua progressivamente e tende ad un valore limite.

Viene definita come **intensità di pallinatura tipica**, quella di un getto che produce una freccia di inflessione tale che, anche raddoppiando il tempo di esposizione, il valore della freccia non varia oltre il 10%.

Per disegnare la curva di saturazione, il metodo standard, prevede l'uso minimo di 4 provini Almen.



Schema della prova di shot peening e misurazione su provini Almen

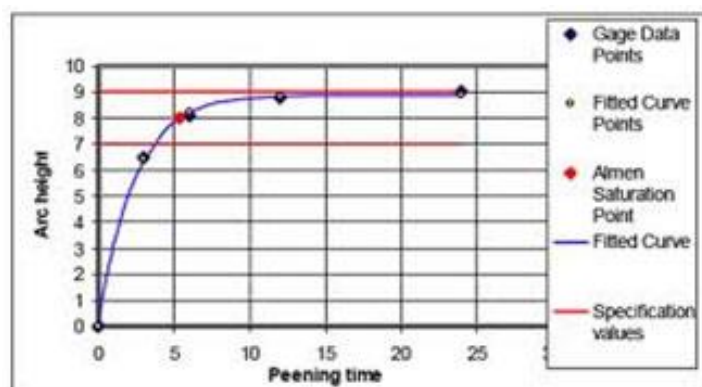


Diagramma curva di saturazione (evidenziati i 4 provini Almen)

## IMPIANTI DI GRANIGLIATURA

Per poter operare su una grande varietà di pezzi, la gamma delle macchine granigliatrici disponibili è molto ampia. Ogni macchina è diversa dall'altra ma tutte hanno lo stesso principio di funzionamento e sono composte dagli stessi gruppi principali:

1. Il sistema di lancio della graniglia (a turbina o ad aria compressa).
2. La cabina di granigliatura; che è la camera in cui avviene il processo.
3. Il sistema di circolazione e ricondizionamento dell'abrasivo; è il sistema che recupera la graniglia dopo il trattamento, la pulisce dai contaminanti e la riporta al sistema di lancio.
4. Il sistema di aspirazione dell'aria; è il complesso di canalizzazioni che partendo dalla cabina e dai gruppi componenti il ricircolo dell'abrasivo, prelevano l'aria polverosa che si forma durante il processo e la inviano ad un gruppo filtrante per abbatterne le polveri prima della reimmissione in atmosfera.
5. Il sistema di movimentazione dei pezzi; che introduce ed estrae i pezzi da granigliare nella cabina.

### **I sistemi di lancio**

Come già anticipato, i sistemi di lancio dell'abrasivo comunemente impiegati dagli impianti di granigliatura sono sostanzialmente due:

- sistema di lancio ad aria compressa
- sistema di lancio a turbina

Il sistema di lancio ad aria compressa, utilizza per proiettare l'abrasivo sulla superficie da trattare un fluido propulsore che è appunto l'aria compressa.

Il sistema ad aria compressa si suddivide in due categorie che analizzeremo più avanti, il sistema ad aria compressa in aspirazione ed il sistema ad aria compressa in pressione.

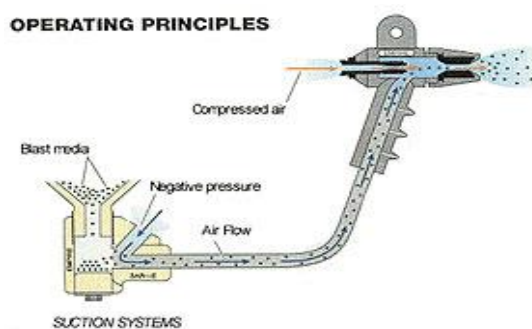
Il sistema di lancio a turbine, invece, utilizza per proiettare l'abrasivo sulla superficie da trattare, una turbina appunto, che per mezzo delle palette interne rotanti ad alta velocità, accelerano le particelle di abrasivo.

## Sistemi di lancio ad aria compressa

### Impianti in depressione

Il sistema ad aria compressa in aspirazione (in depressione) può essere schematicamente rappresentato dai seguenti elementi:

- il compressore: è la macchina che comprime l'aria all'interno di un serbatoio dal quale si produce il getto d'aria alla pressione voluta (e regolabile)
- la pistola: è il dispositivo collegato alle due tubazioni nelle quali scorrono:
  - a) l'aria compressa proveniente dal compressore
  - b) la graniglia aspirata dalla stessa pistola per effetto venturi
- la pistola inoltre alloggia l'ugello di lancio che solitamente viene realizzato in acciaio duro, carburo di tungsteno, carburo di boro, ecc...



*Pistola di sabbiatura del tipo in aspirazione*

Questo sistema, per le sue caratteristiche costruttive, viene utilizzato per basse produzioni, inoltre è necessario prestare attenzione alle curve delle tubazioni che devono essere ampie e soprattutto in un numero minimo indispensabile in quanto l'aspirazione per effetto venturi dipende molto dalla distanza dell'ugello di uscita del materiale dal punto in cui viene prelevato l'abrasivo.

### Impianti in pressione

Il sistema ad aria compressa in pressione può essere schematicamente rappresentato dai seguenti elementi:

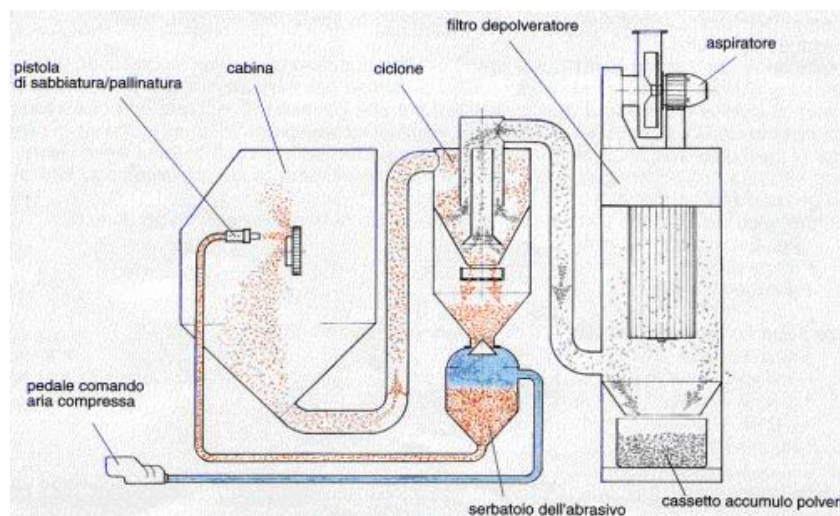
- il compressore
- la sabbiatrice (detto anche propulsore)
- l'ugello o pistola





*Esploso di una pistola di sabbiatura*

Si applica in ambiti in cui viene richiesta la massima flessibilità ed in operazioni di finitura; esso garantisce una alta efficienza nell'uso dell'abrasivo, un'alta precisione, la possibilità di raggiungere piccole aree di difficile accesso.



*Schema di impianto ad aria compressa*

**Il compressore** è la macchina che comprime l'aria all'interno di un serbatoio, dal quale si produce il getto d'aria in pressione (regolabile). Solitamente per la sabbiatura non è richiesta una elevata pressione, ma è preferibile disporre di una elevata portata d'aria (circa 6 – 7 bar di pressione per almeno 120 – 160 lt/min.)

**La sabbiatrice** è quel dispositivo propulsore che contiene e miscela la graniglia con il getto d'aria compressa prodotta dal compressore e, passando attraverso opportune valvole di miscelazione e regolazione, ne regola la portata e le proporzioni aria/graniglia. La sabbiatrice (o propulsore dell'abrasivo) è principalmente composta da:

- a) **un serbatoio:** di forma cilindrica, dove viene immagazzinata la graniglia da miscelare al getto d'aria compressa.
- b) **la bocchetta di miscelazione:** solitamente è posizionata sul lato inferiore del serbatoio, su di essa viene installata una valvola miscela la dose corretta di graniglia nel getto d'aria compressa che affluisce a valle della valvola stessa.

c) **il circuito di comando:** permette all'operatore di aprire o chiudere la mandata di aria/graniglia in pressione mediante una leva sulla lancia o un pedale; solitamente si tratta di un comando pneumatico.

Il serbatoio (chiamato propulsore) inoltre può essere di due tipi, a camera singola e a doppia camera. Il **serbatoio a camera singola** viene solitamente utilizzato in basse produzioni, dove non è richiesta una produzione continua di abrasivo in quanto, il serbatoio una volta che si è svuotato di abrasivo, bisogna provvedere al suo riempimento e durante questa fase non è possibile effettuare operazioni di granigliatura. Il **serbatoio a doppia camera**, invece, è costituito da due serbatoi posti uno sopra l'altro e messi in collegamento tra loro tramite una valvola. Questo sistema permette un processo in continuo in quanto viene sempre mantenuto carico di abrasivo ed in pressione il serbatoio inferiore. Il ciclo di riempimento e svuotamento dei serbatoi superiore ed inferiore sono alternati e comandati automaticamente dal software dell'impianto. Infatti questo tipo di sabbiatrice viene utilizzata in impianti automatizzati e a produzione continua.

**L'ugello o pistola** costituisce la parte finale del sistema di lancio ed è collegato con una manichetta (un tubo in gomma resistente all'abrasivo) alla sabbiatrice. Il dispositivo convoglia e concentra il getto della miscela aria/graniglia proveniente dalla sabbiatrice sulla superficie del pezzo da trattare. L'ugello o la parte terminale della pistola sono generalmente realizzati in nitruro di boro o in carburo di tungsteno.

### **Sistemi di lancio a turbina**

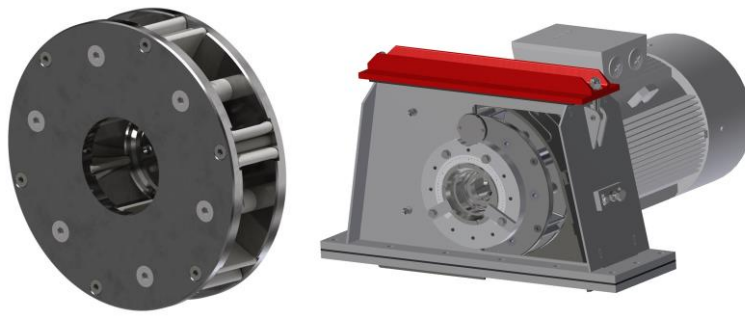
I sistemi di lancio dell'abrasivo a turbina sono impiegati nelle macchine che devono trattare pezzi di grandi dimensione o con una elevata produzione oraria. La turbina è una macchina rotante composta da una parte fissa e una parte rotante, i componenti fondamentali sono;

Parte fissa:

- carcassa in acciaio con coperchio superiore apribile
- rivestimento interno in piastre di acciaio trattato termicamente o di ghisa anti usura
- bocchetta di alimentazione in fusione di ghisa
- alloggiamento ventola regolabile dall'esterno in fusione di ghisa anti usura o in acciaio trattato termicamente
- ghiera graduata per la regolazione del getto

Parte rotante:

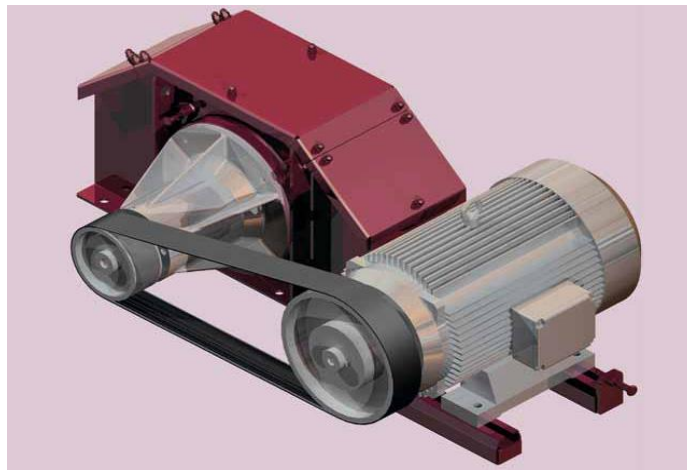
- rotore porta palette in acciaio trattato termicamente (monodisco oppure a 2 dischi)
- palette (da 6 a 8) in ghisa anti usura o acciaio trattato fissate radialmente sul rotore
- ventola acceleratrice
- albero centrale porta ventola.



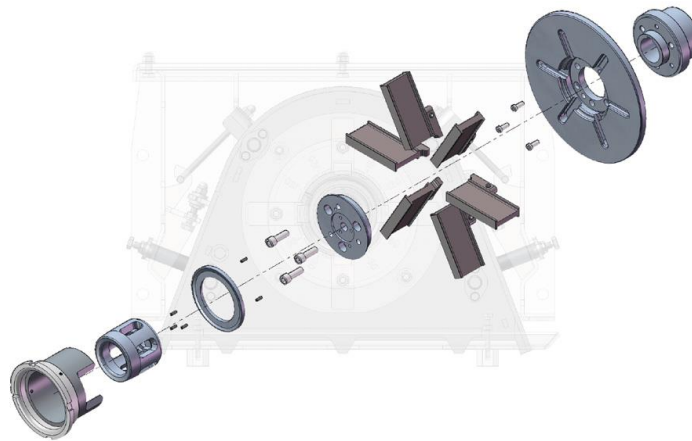
*Turbina con motore diretto e dettaglio del rotore a 2 dischi*

La turbina può avere il motore collegato direttamente alla ventola acceleratrice ed in tal caso il motore elettrico è un 2 poli per avere una velocità di rotazione di 2900÷3000 giri/minuto. Questa soluzione è utilizzata soprattutto sulle turbine più piccole e con una relativamente bassa potenza installata; da 5,5 a 22 kW.

Per le turbine di taglia superiore e di potenza elevata, si preferisce usare una turbina con mandrino ed il motore collegato con una trasmissione a pulegge e cinghie trapezoidali. In questa tipologia di macchina, le potenze installate possono andare dai 22 ai 90 kW ad anche oltre se necessario. Nelle turbine con il mandrino con trasmissione a cinghie e pulegge, la velocità di rotazione del rotore è compresa tra i 2100 ed i 2500 giri/minuto, preferendo usare un motore a 4 poli da 1500 giri/minuto. La turbina con mandrino richiede la manutenzione per controllare lo stato dei cuscinetti nel mandrino e la lubrificazione periodica degli stessi.



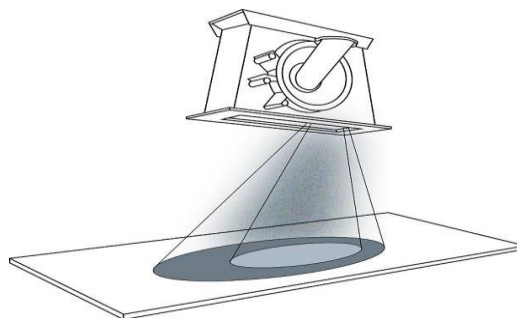
*Turbina con mandrino e trasmissione a cinghie e pulegge*



*Esploso dei componenti rotanti di una turbina*

Il funzionamento di una turbina di granigliatura si basa sul principio della forza centrifuga come mezzo per accelerare le particelle di abrasivo (graniglia) ad una velocità tangenziale (rispetto al rotore) fino a circa  $85\div 87$  m/sec.

L'abrasivo entra nella turbina dalla bocchetta di alimentazione tramite un tubo in gomma anti abrasiva e proveniente dal serbatoio abrasivo posto sopra le turbine (solitamente su di una piattaforma che sostiene anche le altre apparecchiature di ricondizionamento dell'abrasivo). Il rotore che gira ad alta velocità funziona come un ventilatore che aspira all'interno della ventola l'abrasivo. La forza centrifuga fa fuoriuscire la graniglia dalle feritoie della ventola in senso radiale. Le palette, fissate radialmente al rotore, colpiscono la graniglia accelerandola alla velocità necessaria per avere una energia cinetica capace di generare un impatto sufficiente all'azione di granigliatura sulla superficie da trattare.

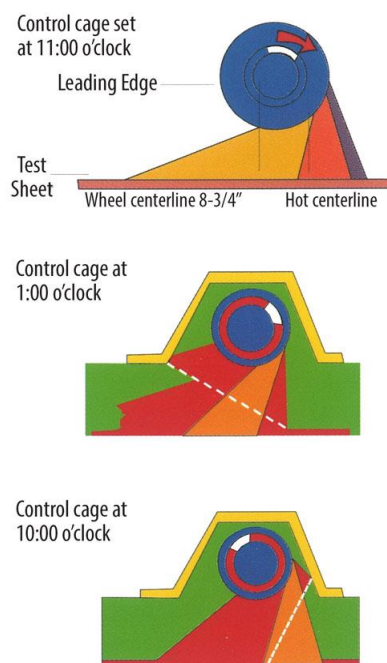


Esempio di lancio dell'abrasivo da una turbina

Il getto di abrasivo, per essere efficace, deve essere concentrato e regolato nella direzione del getto. Questa necessità tecnica viene ottenuta con la regolazione dell'alloggio ventola. Questo dispositivo, realizzato in fusione di ghisa antiusura o in acciaio da bonifica lavorato

e trattato, ha la forma di un grosso bicchiere ed ha una “finestra” di dimensioni prestabilite, posizionata sulla parte cilindrica dello stesso. Ruotando l’alloggio ventola in senso orario o antiorario, si direziona il getto di abrasivo “centrando” il pezzo o la zona da trattare. Come si vede dalla figura, il getto dell’abrasivo ha un flusso più concentrato verso la zona centrale del getto, mentre le “code” hanno un flusso di minore portata. La zona centrale che ha la maggior portata di abrasivo, è quella che colpisce con maggior efficacia il pezzo e la zona viene chiamata “hot point” o punto caldo.

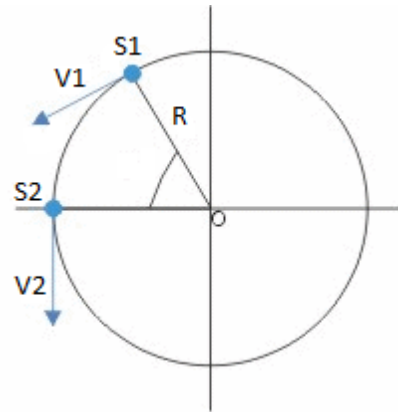
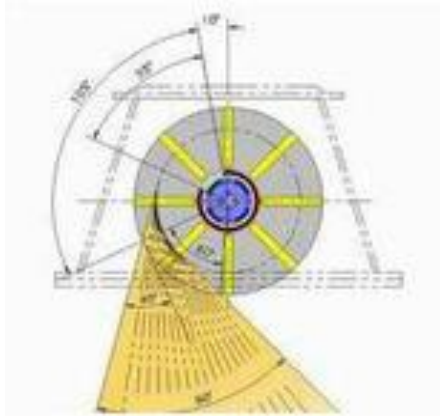
La figura sottostante evidenzia che la “finestra” dell’alloggio ventola deve essere posizionata ad un angolo di circa  $160^{\circ} \div 180^{\circ}$  rispetto alla direzione di lancio dell’abrasivo affinché il “getto” sia nella giusta direzione.



#### *Regolazione del lancio dell’abrasivo di una turbina*

La corretta regolazione del getto di abrasivo, è fondamentale per l’ottenimento del miglior risultato nel trattamento dei pezzi ma anche per la maggior durata della macchina e della turbina stessa. Infatti, se il getto non è correttamente direzionato, le “code” del flusso di abrasivo, anziché finire sui pezzi da trattare, vanno a impattare e a corrodere la cabina di granigliatura e la carcassa della turbina stessa.

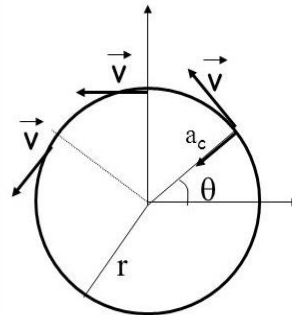
La corretta posizione dell’alloggio ventola deve essere effettuata in fase di preparazione della macchina, effettuando delle prove su dei pezzi campione o su di una lamiera di prova, posta ad una distanza nota, per poter dirigere il getto di abrasivo verso il bersaglio.



*Direzione del flusso dell'abrasivo di una turbina e rappresentazione schematica della velocità periferica*

La velocità periferica è dipendente dalla velocità di rotazione e dalla distanza dal centro ovvero il raggio R. Considerando la rotazione della turbina a velocità costante, abbiamo:

<b>Velocità angolare</b>	$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \text{cost}$	$\left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$
<b>Velocità lineare</b>	$\mathbf{v} = \omega \mathbf{r}$	$\rightarrow \omega = \frac{v}{r}$
<b>Frequenza</b>	$f = \text{n.giri/s}$	$[s^{-1} = \text{Hz}]$
<b>Periodo</b>	$T = \frac{1}{f}$	$[s] \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$



$|\vec{v}| = \text{cost} \rightarrow$  no accelerazione tangenziale  $a_t = 0$

$\vec{v}$  cambia in direzione  $\rightarrow$  acc. centripeta:

$$a_c = \omega^2 r = \frac{v^2}{r^2} r = \frac{v^2}{r}$$

Con una turbina a motore diretto (3000 giri/minuto) e con un rotore avente un diametro esterno di 40 cm, avremo i seguenti valori caratteristici:

**Esempio: Centrifuga di raggio  $R = 20$  cm,  
che ruota a 3000 giri/minuto**

a) **frequenza:**  $f = \frac{n \cdot \text{giri}}{s} = \frac{3000 \text{giri}}{\text{min}} = \frac{3000 \text{giri}}{60s} = \frac{50 \text{giri}}{s} = 50 \text{Hz}$

b) **periodo:**  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{Hz}} = \frac{1}{50 \text{s}^{-1}} = 0.02 \text{s}$       Tempo per compiere 1 giro completo

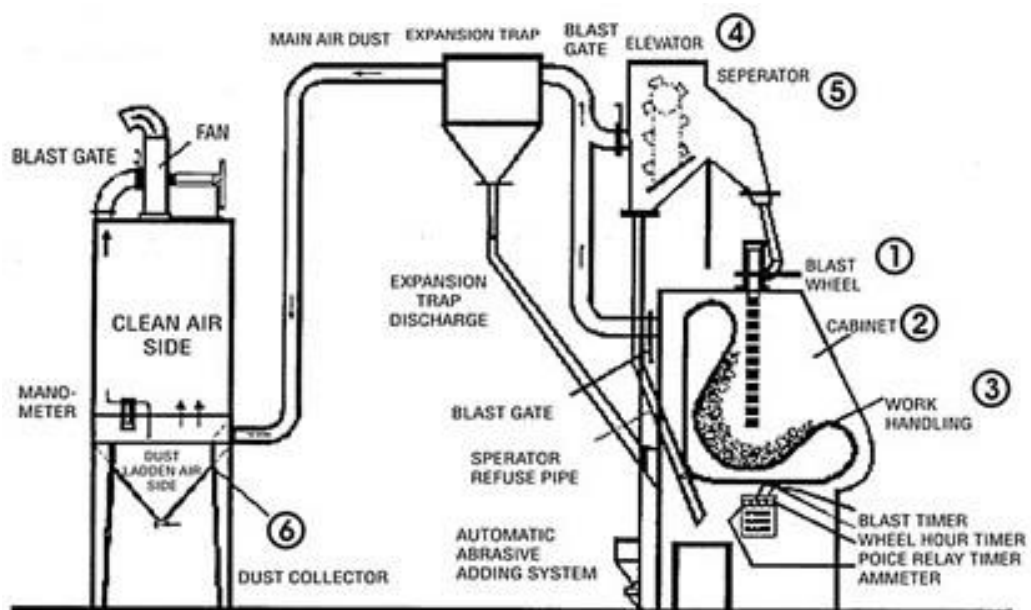
c) **velocità angolare:**  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,02s} = 314,16 \frac{\text{rad}}{s}$

d) **velocità lineare o periferica:**  $v = \omega R = \frac{314,16 \text{rad}}{s} \cdot 0,2 \text{m} = 62,83 \frac{\text{m}}{s}$       Velocità di un punto sul bordo della centrifuga

In questo caso, la velocità periferica della turbina è di quasi 63 m/sec. Generalmente il motore della turbina è sempre controllato da un inverter ed il valore indicato è il nominale sui 50 Hz. La velocità di rotazione può essere variata tra i 25 ed i 75÷80 Hz. di frequenza. Questo è necessario per agevolare lo spunto alla partenza della turbina, ma anche per poter sopperire ad eventuali variazioni di carico nell'alimentazione di abrasivo durante il funzionamento.

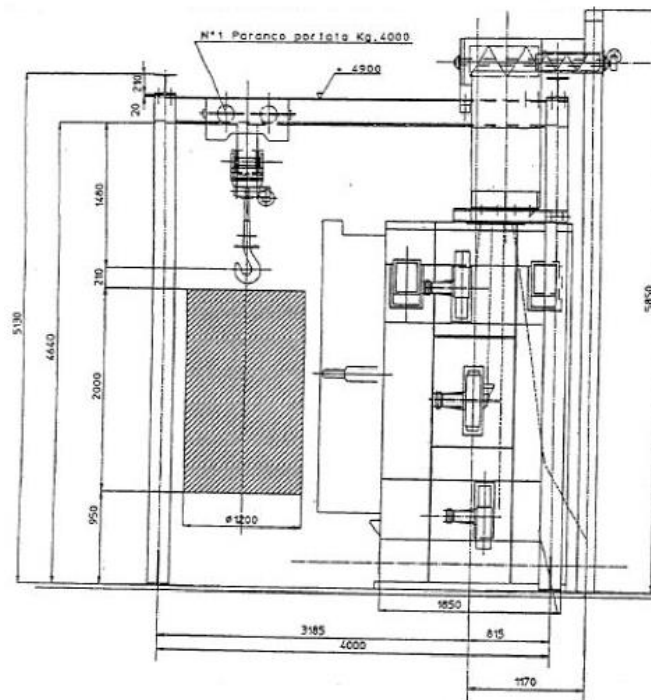
Vi sono molti tipi di granigliatrici a turbina, I più tipici sono certamente la granigliatrice a tappeto detto anche a “barile” e la granigliatrice a gancio.

La granigliatrice a barile, di cui allego lo schema qui sotto, è un impianto adatto alla granigliatura o stero granigliatura di componenti di fonderia.



Questo impianto è costituito da una o due turbine (pos.1) fissate sul tetto della cabina di granigliatura (pos. 2). Al suo interno vi è il “tappeto” (pos. 3) che può essere un nastro continuo in gomma anti usura con inserti telati, oppure in piastre di acciaio (dette anche slat) avvitate sulle catene perimetrali di trasmissione. L'abrasivo colpisce i pezzi posti alla rinfusa sul tappeto, i pezzi che rotolano sul tappeto, espongono tutti i loro lati al getto di abrasivo della turbina. La graniglia viene drenata dal tappeto (perché forato opportunamente), cade o su un convogliatore vibrante o su una coclea che trasporta la graniglia alla base dell'elevatore (pos. 4). Da qui viene scaricata in forma di cortina di abrasivo in un separatore (pos. 5) che può essere pneumatico o magnetico-pneumatico il quale depura l'abrasivo dai contaminati e lo reinvia, depurato, alla turbina chiudendo il ciclo. In separatore per depurare l'abrasivo, ha bisogno di una corrente d'aria che viene generata dal ventilatore di aspirazione posto sul filtro depolveratore (pos. 6). Nel filtro depolveratore, che può essere a cartucce o a maniche, trattiene la polvere aspirata dalla cabina di granigliatura e la raccoglie nella tramoggia inferiore facendola cadere in un contenitore.

Questo invece è lo schema di una tipica granigliatrice a gancio



Essa è costituita da una cabina di granigliatura le cui turbine, come si può ben vedere, sono alloggiare su un fianco della cabina stessa. Il carico da movimentare è rappresentato dal cilindro tratteggiato ed è l'ingombro massimo che la macchina può trattare. Il peso del carico è sostenuto da un paranco di portata adeguata che equipaggiato con un carrello, scorre sulle vie di corsa che altro non sono che delle travi IPE o HEB calcolate per avere un coefficiente di sicurezza di almeno 4÷5. Il gruppo del gancio che sostiene il carico,

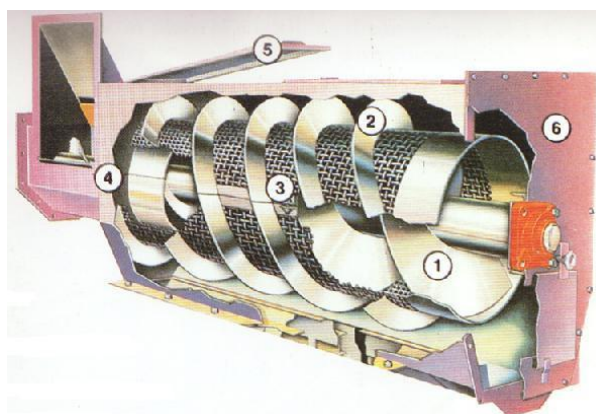


quando entra in cabina, ingrana su di un gruppo di rotazione pezzo. Questo dispositivo fondamentale, permette al carico di ruotare con una velocità periferica di circa 5 m/min. e così facendo porta sotto al getto delle turbine, tutte le superfici dei pezzi da trattare. La cabina di granigliatura è internamente rivestita o in lastre di gomma antiabrasiva o in piastre di usura di acciaio al manganese (X120Mn12). Questa scelta dipende dalla potenza installata sulle turbine e dalla esigenza di una più frequente o meno manutenzione della macchina.

Lo schema appena descritto, presenta anche il **vaglio rotante** (detto anche “scalping drum”); questo componente identifica la macchina come destinata alla granigliatura di pezzi di fonderia.

Il **vaglio rotante** (5) è montato al posto della coclea di distribuzione dell'abrasivo, consente una prima depurazione della graniglia prima che entri nel separatore magnetico-pneumatico. Esso è costituito da una coclea centrale (4) su cui sono montati mediante dei supporti a raggiera, dei cilindri in rete metallica o in lamiera forata (3). Questi cilindri hanno dei piatti saldati internamente (1) ed esternamente (2) per trasportare l'abrasivo e le impurità presenti. Il funzionamento è semplice, l'abrasivo giunto dall'elevatore viene trasportato dalla coclea all'interno dei cilindri in rete (o in lamiera forata) e, avanzando, drena l'abrasivo buono e trattiene gli sfidi, le materozze di fusione ed altre impurità grossolane, trasportandole fino in fondo al vaglio dove, da un foro nella carpenteria nel lato inferiore della testata (6), scarica le impurità in un contenitore a terra.

L'abrasivo grossolanamente depurato può ora entrare nei gruppi di lavaggio (separatore pneumatico o magnetico) per una migliore raffinazione e depurazione.



*Vista interna di un vaglio rotante*

### **Il sistema di circolazione dell'abrasivo.**

Come anticipato nella descrizione dello schema appena esposto, per poter granigliare in maniera continua ed efficace, è necessario riciclare continuamente l'abrasivo. La graniglia proveniente dalla cabina di granigliatura è però ricca di elementi contaminanti ed impurità

di vario genere, proveniente dalla superficie trattata; essi sono polveri, bave, ossidi, sabbia, terre miste a bentonite, ecc...

Per poter riutilizzare la graniglia è necessario pulirla in quanto i contaminanti che dovessero raggiungere gli organi di lancio (palette turbina, ugelli, valvole abrasivo, ecc..) possono danneggiarle in maniera molto seria, costringendo a fermare la produzione per tempi molto lunghi.

Il sistema di circolazione dell'abrasivo svolge contemporaneamente le funzioni di:

- trasporto e circolazione dell'abrasivo
- pulizia e ricondizionamento

I componenti principali sono:

- tramoggia di raccolta: posta sotto la cabina di granigliatura, raccoglie l'abrasivo che cade, per gravità, dopo aver colpito la superficie da pulire;
- coclee di trasporto e/o trasportatori vibranti: posizionati sotto la tramoggia di raccolta, trasportano l'abrasivo verso la base dell'elevatore a tazze;
- elevatore a tazze: solleva l'abrasivo fino alla parte superiore dell'impianto dove si trovano gli elementi separatori;
- separatore magnetico/pneumatico: depura la graniglia dai contaminanti
- tramoggia di alimentazione: raccoglie l'abrasivo depurato da inviare al sistema di lancio;
- valvola abrasivo: regola il flusso di abrasivo dalla tramoggia ai sistemi di lancio
- classificatore o selezionatore vibrante: in particolare negli impianti di pallinatura e per l'ottenimento di profili di rugosità mantengono costante la granulometria della graniglia.

Analizziamo in dettaglio questi sottogruppi;

**La tramoggia inferiore** realizzata in lamiera di acciaio, di spessore  $3\div 5$  mm, deve soddisfare il requisito di possedere una adeguata inclinazione per poter garantire la caduta della graniglia. L'abrasivo metallico di tipo sferoidale, ha un angolo di frana di almeno  $37^\circ$  dalla orizzontale, l'abrasivo metallico angoloso, ha un angolo di frana di almeno  $40^\circ$ . Si consiglia, se gli ingombri lo permettono, di usare una pendenza delle pareti della tramoggia di almeno  $42\div 45^\circ$ .

**Le coclee di trasporto** sono realizzate con tubi in acciaio di grosso spessore sul quale vengono saldati alle estremità i mozzi per i supporti e la motorizzazione e sul mantello le spire che solitamente vengono acquistate da produttori specializzati. Le spire da saldare possono essere in acciaio o in acciaio al manganese (X120Mn12) antiusura, hanno un diametro esterno pari al passo e devono avere uno spessore di  $5\div 10$  mm per evitare un'usura precoce.

**Il trasportatore vibrante** viene utilizzato al posto della coclea inferiore, è realizzato in due parti, la parte inferiore è un telaio in acciaio, che viene ancorato al suolo tramite tasselli meccanici o chimici, sostiene il gruppo moto vibrante e, tramite un collegamento mobile, leve e molle, sostiene il canale superiore. Il canale superiore è la parte che vibra, che trasporta e drena l'abrasivo dalle impurità. Infatti il canale vibrante, a sua volta, ha una intercapedine ed il piano di trasporto è in lamiera forata. L'abrasivo cade nella parte inferiore del canale e viene reimmesso in circolo, mentre gli sfridi e le impurità, restano sopra la lamiera forata e vengono scaricati in un contenitore di raccolta.



*Trasportatore vibrante*

**L'elevatore a tazze** è la macchina atta a trasportare l'abrasivo dal livello inferiore al livello superiore dell'impianto. E' generalmente costituito da:

- una base elevatore
- una serie di canne intermedie
- una testa elevatore
- un nastro telato rinforzato con imbullonate le tazze in acciaio imbutite

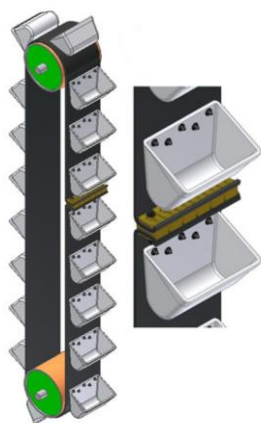
**La base dell'elevatore** costruita in acciaio con lamiere di 5 mm di spessore, alloggia il tamburo inferiore, fissato su di un albero e sostenuto da due supporti esterni alla carpenteria. I supporti sono avvitati su slitte regolabili che servono a tendere il nastro durante il funzionamento. La base elevatore inoltre alloggia il controllo dei giri del tamburo e la bocchetta di carico dell'abrasivo.

**Le canne intermedie** sono costruite in lamiera di acciaio di 2÷3 mm di spessore e sigillano a tenuta di polvere il nastro elevatore evitando la fuoriuscita di abrasivo dall'elevatore. Possono avere degli sportelli per ispezione e manutenzione del nastro e delle tazze.

**La testa dell'elevatore** costruita in acciaio con lamiere di 5 mm di spessore, alloggia il tamburo superiore (a volte gommato), fissato su di un albero e sostenuto da due supporti esterni alla carpenteria. L'albero è di comando ed infatti è collegato all'albero cavo del

motoriduttore per la motorizzazione dell'elevatore. La testa elevatore inoltre alloggia la bocchetta di scarico.

**Il nastro elevatore** è realizzato in gomma SBR/NBR resistente all'abrasione ed antistatico, con una copertura in gomma maggiorata sul lato puleggia e resistente all'abrasione secondo la norma ISO 4649 < 150 mm<sup>3</sup>. La carcassa tessile ha un ordito in poliestere ed una trama in poliammide. Su di esso vengono montate le tazze tramite bulloni speciali, le tazze sono in acciaio di alto spessore.

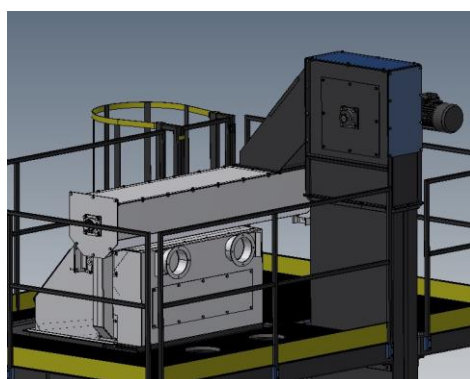


*Nastro elevatore con tazze imbullonate*



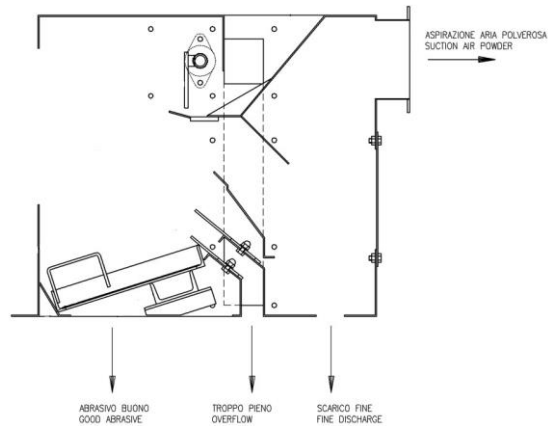
*Elevatore a tazze, vista esterna*

**Il separatore pneumatico** è un componente fondamentale dell'impianto tanto quanto il sistema di lancio. Ad esso è demandato il compito di depurare dall'abrasivo che ha lavorato e deve reimmettere in circolo quello "pulito". Costruito in lamiera di acciaio, è realizzato in lunghezze differenti a seconda della portata di abrasivo da depurare dell'impianto. Al suo interno, delle lamiere longitudinali, suddividono lo spazio interno in aree di lavaggio che separano l'abrasivo buono da quello fine e un troppo pieno per evitare di ingolfare la tramoggia inferiore. Il funzionamento è molto semplice; l'abrasivo da depurare è scaricato lungo l'intera lunghezza del separatore e viene fatto cadere formando una cortina di abrasivo. Questo velo o cortina di abrasivo in caduta viene fatta attraversare da una corrente d'aria con una portata debitamente calcolata, affinché vengano prelevate tutte le polveri fini che, tramite la canalizzazione, finiscono nel filtro depolveratore e sono fermate dalle cartucce.



*Dettaglio del separatore alimentato dalla coclea superiore e dall'elevatore a tazze*

*Vista in sezione di un separatore pneumatico*



**Il separatore magnetico/pneumatico** è una evoluzione del precedente e, oltre alla parte pneumatica, sopra di essa vi è il gruppo magnetico costituito da uno o due tamburi magnetici che asportano i contaminanti ferrosi dall'abrasivo prima di arrivare al lavaggio pneumatico e li scaricano a terra in un contenitore.

**La tramoggia di alimentazione**, detta anche serbatoio abrasivo, è il contenitore principale dell'abrasivo circolante nell'impianto. Costruita in lamiera d'acciaio di spessore 3÷5 mm, è posta sopra l'impianto, solitamente appoggiata sulla piattaforma che sostiene anche il separatore pneumatico e la coclea superiore. Le pareti della tramoggia devono avere una adeguata inclinazione per poter garantire la caduta e lo scorrimento dell'abrasivo verso le aperture di collegamento con le valvole abrasivo poste sotto alla tramoggia. Una o due sonde di livello sono previste sul lato opposto a dove è posizionato l'elevatore, esse rilevano quando si è raggiunto il livello minimo e quello massimo di capienza. Quando si raggiunge il livello minimo, il sensore manda un impulso ad un segnale luminoso e/o sonoro, avvisando l'operatore che bisogna caricare dell'abrasivo nuovo. Quando si raggiunge il livello massimo, invece, il segnale che riceve l'operatore, avvisa che vi è un possibile intasamento del canale del troppo pieno della tramoggia.

**La valvola abrasiva**, è il dispositivo che regola l'alimentazione della graniglia dalla tramoggia di alimentazione al sistema di lancio. Viene costruita in differenti modi; se deve alimentare una turbina può essere con chiusura a cassetto o con chiusura a benna, comandata da un cilindro pneumatico. Ad essa, si accoppia sempre una serranda a ghigliottina manuale, montata subito prima della valvola, che serve ad isolarla in caso di smontaggio. Le valvole abrasivo per i sistemi di lancio ad aria compressa, sono invece a membrana a regolazione pneumatica o manuale. Altro non è che un rubinetto da 1" o da 1" ½ con membrana in gomma speciale anti usura.



*Valvola abrasivo a benna per turbine*



*Valvola abrasivo per propulsore ad aria compressa*

Vi è un terzo tipo di valvola abrasiva, ed è a funzionamento magnetico e si chiama appunto **Magnavalve®** ; viene utilizzata soprattutto negli impianti a turbina con elevate portate di graniglia metallica. Il funzionamento si basa sul magnetismo, infatti il canale centrale in cui passa l'abrasivo può essere aperto o chiuso generando il campo magnetico nel solenoide che circonda il canale di passaggio. Essa permetta anche di parzializzare il flusso di abrasivo, operazione che non è possibile con le valvole ad azionamento pneumatico che sono del tipo “*tutto aperto – tutto chiuso*”.

A causa del suo costo elevato, e del fatto che per funzionare richiede un controller per ogni valvola, viene installata solo a richiesta del cliente e su impianti di una certa importanza.



*Magnavalve® per impianti a turbina (a sx) e ad aria compressa (a dx)*

**Il classificatore o selezionatore vibrante**, viene richiesto in quegli impianti in cui è necessaria l'esatto dosaggio della miscela operativa. In modo particolare, viene installato soprattutto sugli impianti di shot peening con alimentazione ad aria compressa (propulsore abrasivo). Esso consente su una serie di setacci a rete con luce calibrata, di

selezionare la taglia corretta di graniglia da reimmettere in circolo e di scartare quella rotta o troppo fine e le impurità grossolane finite nella circolazione dell'abrasivo.



*Classificatore (selezionatore) vibrante a 2 stadi*

Azionato da un moto vibratore, viene solitamente installato sulla piattaforma superiore che alloggia il separatore magnetico/pneumatico e la tramoggia dell'alimentazione.

Ogni livello di separazione ha uno scarico autonomo, regolabile, a cui vengono collegati i tubi in gomma per lo scarico degli scarti in contenitori a terra o per la reimmissione in circolo dell'abrasivo depurato.

### **Il sistema di raccolta delle polveri**

Le polveri provenienti dalla cabina di granigliatura e dal separatore pneumatico, sono aspirate attraverso un sistema di tubazioni, dall'ultimo fondamentale elemento costituente un impianto di granigliatura: il filtro depolveratore.

La funzione del filtro è quella di aspirare l'aria carica di polvere, depurarla e reimmetterla nell'ambiente. Un filtro realizzato nei seguenti componenti principali:

**Tubazione di aspirazione:** collegata alla cabina e al separatore, convoglia le polveri verso il filtro.

**Ventilatore:** genera il flusso d'aria che aspira l'aria polverosa.

**Elementi filtranti:** attraversati dall'aria polverosa, ne trattengono la polvere, solitamente realizzati in forma di maniche di tessuto o in cartucce.

**Tramoggia di raccolta:** posta nella parte inferiore del filtro, raccoglie le polveri filtrate e le convoglia in un sistema di raccolta che può essere un bidone, una coclea che convoglia la polvere in un sacco industriale detto anche “big bag”, ecc..

**Sistema di pulizia degli elementi filtranti:** per mantenere il filtro sempre alla massima efficienza, puliscono automaticamente gli elementi filtranti dalle polveri depositate. E' costituito da un serbatoio di accumulo di aria compressa che, mediante delle condutture che portano su ogni singola manica o cartuccia, emettono un getto d'aria (o “sparo”) a tempi predeterminati grazie ad un temporizzatore.

E' anche possibile equipaggiare il filtro con un pressostato differenziale che rileva l'eventuale intasamento degli elementi filtranti e invia il segnale di “sparo” alla elettrovalvola di comando per il getto d'aria pulente.



*Filtro depolveratore a cartucce*



*Filtro depolveratore a maniche*

Andiamo ora ad analizzare più in dettaglio i vari componenti:

**La tubazione di aspirazione** deve essere opportunamente dimensionata per poter garantire una velocità di aspirazione compresa tra i 5 m/sec. ed i 18÷20 m/sec. Velocità troppo basse permettono alla polvere contenuta nell'aria aspirata di depositarsi molto velocemente all'interno delle canalizzazioni, ostruendole o addirittura facendone collassare la struttura per il peso eccessivo. Velocità troppo elevate provocano un'aspirazione non solo della polvere ma anche della graniglia circolante nella cabina di granigliatura e nel separatore pneumatico provocando un intasamento del filtro con eventuale rottura degli elementi filtranti ed consumo troppo rapido dell'abrasivo in uso. La velocità necessaria all'aspirazione deve essere calcolata in base al sistema di lancio ed al tipo di abrasivo utilizzato. Abrasivi “leggeri” richiedono velocità di aspirazione più basse, mentre abrasivi “pesanti” permettono velocità di aspirazione più elevate.

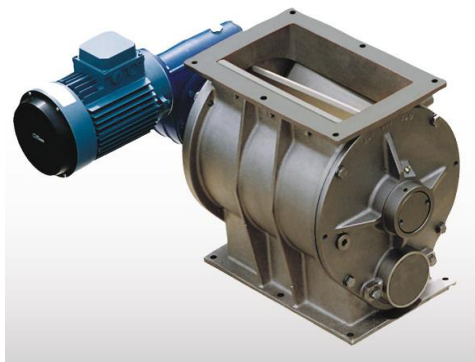
**Il ventilatore di aspirazione** centrifugo deve garantire una portata d'aria sufficiente a garantire il numero minimo di ricambi d'aria richiesti nella cabina di granigliatura. Questo numero di ricambi d'aria è compreso tra i 5 ed i 10 ricambi al minuto; la portata



complessiva si realizza moltiplicando questo valore per il volume interno della camera di granigliatura.

**Gli elementi filtranti** possono essere a maniche o a cartucce e la scelta dipende dalla tipologia di lavorazione necessaria. Se la granigliatura è di componenti di fonderia o sterro granigliatura, allora sono sicuramente consigliate le maniche filtro. Se invece si deve eseguire la granigliatura di componenti meccanici od eseguire lo shot-peening, allora si preferisce installare le cartucce filtranti. Ovviamente non è possibile installare l'una o l'altra. Ogni filtro è costruito espressamente per montare una sola tipologia di elemento filtrante. Bisogna tenere conto che i filtri a maniche hanno ingombri superiori rispetto ai filtri a cartucce, a parità di capacità filtrante, per contro le maniche filtranti sono meno costose come ricambio rispetto alle cartucce.

**La tramoggia di raccolta** è un elemento a forma tronco conica con la base minore rivolta verso il basso. Realizzata in lamiera di acciaio, deve essere realizzata prestando attenzione all'angolo di inclinazione delle lamiere che deve essere sufficiente a far scivolare la polvere di abrasivo che precipita dagli elementi filtranti verso il punto di raccolta posto in basso. La base inferiore della tramoggia è flangiata e su di essa possono essere avvitati diversi elementi di estrazione della polvere quali, valvola stellare (rotocella), trasportatore a coclea, bidone di raccolta.

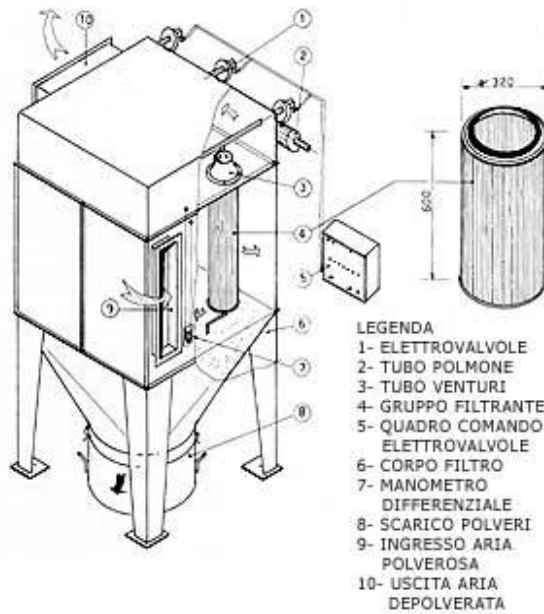


*Valvola stellare (rotocella)*

**Il sistema di pulizia degli elementi filtranti** viene solitamente effettuato con un getto d'aria compressa, per questo è previsto nel filtro depolveratore un serbatoio di accumulo in grado di scaricare tutta l'aria contenuta con un getto di portata elevata in breve tempo. Può essere previsto un serbatoio di accumulo per ogni singolo elemento filtrante ed in tal caso il polmone è installato superiormente all'elemento filtrante in una camera separata, oppure può essere un serbatoio di volume elevato e che serve tutti gli elementi filtranti; in tal caso viene montato esternamente sulla carpenteria del filtro stesso.



*Polmone per singolo elemento filtrante*



*Schema dei componenti principali di un filtro depolveratore*



*Elementi filtranti: a maniche e cartucce*

## LE GRANIGLIATRICI SECONDO LA DIRETTIVA MACCHINE

### **Documentazione a corredo dell'impianto secondo la Direttiva Macchine**

**La Direttiva Macchine 2006/42/CE** del 17 maggio 2006, in sostituzione della direttiva 98/37/CE del Parlamento europeo che si riferiva a tutti i tipi di macchinario e ai loro componenti di sicurezza immessi sul mercato (che a sua volta modifica la direttiva 89/392/CEE del Consiglio, del 14 giugno 1989), ed è entrata in vigore in tutta Europa il 29 dicembre 2009.

Essa definisce i requisiti essenziali per la tutela della sicurezza e della salute pubblica alle quali tutte le macchine devono rispondere (requisiti della progettazione, fabbricazione e funzionamento) prima della immissione sul mercato.

**Ogni macchina che viene venduta nel mercato dell'unione europea deve essere corredata dai seguenti documenti:**

- 1) **Manuale di uso e manutenzione**, di cui una o più copie da consegnare al cliente assieme all'impianto, in cui oltre al funzionamento vi sono elencati i ricambi.
- 2) **Fascicolo tecnico**, che deve restare in azienda a disposizione degli Enti che ne richiedano la visione; esso comprende manuale di uso e manutenzione, distinte, Analisi dei Rischi, calcoli di progetto, fotocopie di pagine di catalogo per i componenti da commercio, ecc...
- 3) **Certificato CE di conformità**, è il documento da consegnare assieme all'impianto che certifica della rispondenza della macchina alla Direttiva Macchine ad alle norme CE.
- 4) **Targa del marchio CE**; deve essere avvitata sulla macchina stessa e deve riportare i seguenti dati: nome del costruttore, indirizzo del costruttore, marcatura CE, designazione della serie o del modello, numero di serie, anno di costruzione.

Per quanto riguarda il Fascicolo Tecnico, si suddivide in due parti:

#### **A – Parte di documentazione immediatamente disponibile**

Questa prima parte contempla solo la documentazione indispensabile, essenziale e di rapido allestimento per il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza essenziali della Direttiva Macchine per il prodotto da commercializzare.

Il contenuto minimo è:

- dati di identificazione del fabbricante e del prodotto
- elenco delle norme armonizzate o delle soluzioni alternative applicate
- descrizione del prodotto con schema d'insieme
- eventuali istruzioni d'uso

## B – Documentazione preparabile in un tempo ragionevole

Comprenderà solo gli aspetti coinvolti dal motivo della richiesta e tutti i documenti richiesti dalle Direttive di riferimento. Di solito deve essere fornito entro un mese dalla richiesta e la eventuale mancata presentazione, può essere sufficiente per dubitare della conformità della macchina.

Uno stato membro può richiedere la parte A nella propria lingua ufficiale. Sarà accordato un ragionevole tempo per la traduzione. In nessun caso può essere richiesta una traduzione giurata.

Nella redazione, il fabbricante deve tener presente che la richiesta del Fascicolo Tecnico presuppone che qualcosa di grave potrebbe succedere o è già successo e che al Fascicolo Tecnico è spesso affidata la difesa della propria azienda e dei propri prodotti.

### L'Analisi dei Rischi per gli impianti di granigliatura (cenni)

L'Analisi dei Rischi deve essere effettuata all'atto della progettazione e redatta secondo l'appendice I del RL 98/37 CE (secondo la norma EN 1248:2009, requisiti di sicurezza per apparecchiature di granigliatura)

#### FOUNDRY MACHINERY - SAFETY REQUIREMENTS FOR ABRASIVE BLASTING EQUIPMENT

Questa norma, redatta in lingua inglese, prende in considerazione tutti i possibili pericoli a cui si può andare incontro lavorando su di un impianto di granigliatura o nelle immediate vicinanze.

Analisi dei rischi secondo l'appendice I del RL 98/37 CE (secondo norma EN 1248:2009, requisiti di sicurezza per apparecchiature di granigliatura)			
Costruttore: <b>PANGBORN EUROPE S.r.l.</b> Macchina: <b>Granigliatrice PE 0903</b> Per boiler	Cliente: <b>EDESA, S. Coop.</b> ES 48970 BASAURI (Vizcaya) SPAGNA	Redatto da: A. Compagnin Data: 16.12.2009	

Pericolo	Conseguenza	Misure di sicurezza secondo gli standard menzionati e/o la misura specifica	Riferimento alle norme (N.A. se non applicabile)	Verifica V/P/M/D
----------	-------------	---	---	---------------------

Elementi di pericolo 5.2. Turbine					
5.2.1	Accesso alle parti interne fisse e rotanti della turbina attraverso coperci o carter apribili durante il suo funzionamento.	Rischio di fenta per proiezione d'abrasivo. Rischio di taglio e abrasione	Dispositivo non previsto	N.A.	V, D
5.2.2	Esposizione al lancio dell'abrasivo e dei pezzi da granigliare	Rischio di fenta per proiezione d'abrasivo. Rischio di taglio.	Dispositivo non previsto	N.A.	V
5.2.3	Accesso all'attuatore pneumatico/idraulico delle parti mobili delle valvole abrasivo in caso di intasamento e durante la manutenzione	Rischio di fenta da taglio, schiacciamento, abrasione.	Dispositivo non previsto	N.A.	V

						DWG		
							.....	
Rev	Date	Description	Drawn	Checked	Approved	Page	1	of 25

*Pagina di esempio di un tabulato per l'Analisi dei Rischi secondo la norma EN 1248:2009*

CASO DI STUDIO

**Impianto di pallinatura a tavola rotante con 3 stazioni.**

**Problema**

Il gruppo Bosch nell'anno 2008 ha iniziato una nuova produzione di valvole oleodinamiche proporzionali. Le valvole sono costituite da un monoblocco realizzato in fusione di ghisa con dei canali interni dove l'olio idraulico scorre. Questi canali sono realizzati di fusione e presentano sfridi e residui di terre di formatura al loro interno che devono essere eliminati prima delle successive lavorazioni a macchina utensile necessarie per realizzare le sedi delle guarnizioni di tenuta e dei cassettei di distribuzione delle valvole. Inoltre, la pallinatura interna dei canali di passaggio olio, ne permette una migliore scorrevolezza.



*Foto della valvola oleodinamica proporzionale assemblata*

**Soluzione**

I requisiti del cliente erano molto stringenti:

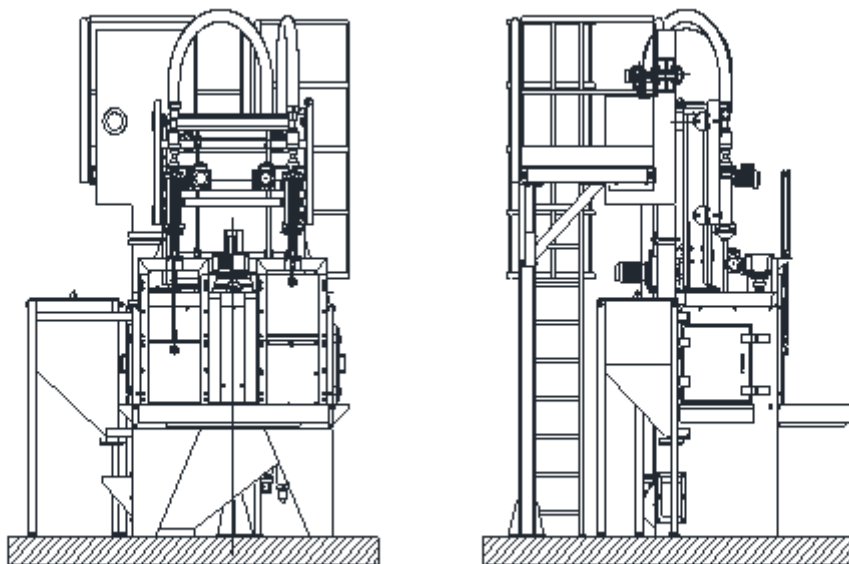
- dimensioni dell'impianto estremamente contenute,
- minor numero possibile di operatori addetti,
- flessibilità di produzione,
- basso numero di pezzi di ricambio,
- manutenzione semplificata,
- bassi consumi energetici,
- economicità di esercizio.

Quando nell'anno 2008, è stato impostato il progetto, per rispondere ai requisiti del cliente, si è deciso di sviluppare una pallinatrice a tavola rotante in cui la camera di pallinatura è protetta da 2 porte a ghigliottina per la tenuta polvere.

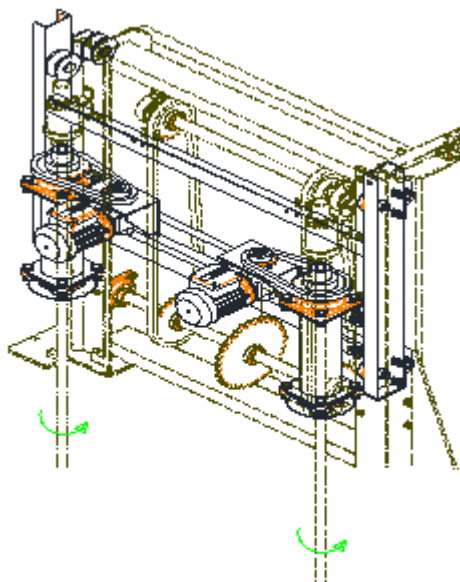
Per rispondere alla richiesta di compattezza dell'impianto e del minor numero possibile di parti di ricambio, ha orientato la scelta per un impianto ad aria compressa in depressione, cioè con le pistole di sabbiatura del tipo in aspirazione. Questo tipo di impianto non ha il propulsore abrasivo ed un minore numero di valvole abrasivo rispetto ad un impianto in pressione. Per il funzionamento è sufficiente un solo operatore.

Le 2 pistole ad aria compressa, una per stazione di lavoro, sono ciascuna dotate di ugello d'aria con posizione regolabile. Un gruppo motorizzato posto sopra la cabina, consente la regolazione della distanza di ogni pistola dal piano della tavola rotante in modo da ottenere una zona di lancio uniforme.

L'abrasivo lanciato dalle 2 pistole, dopo aver colpito i pezzi posti sopra i satelliti, cade per gravità su una piastra forata (il piano della tavola rotante) e va a depositarsi nella tramoggia di raccolta, dotata di un trasportatore a coclea, che trasporta l'abrasivo alla base dell'elevatore a tazze. L'elevatore solleva l'abrasivo fino al separatore pneumatico che separa l'abrasivo buono da recuperare dalle impurità. L'abrasivo depurato viene quindi raccolto nel serbatoio situato sotto al separatore e viene inviato, attraverso i condotti regolabili speciali, alle 2 pistole di pallinatura.



*Disegno di massima dell'impianto*



*Dettaglio motorizzazione lance di pallinatura*

#### Dati tecnici impianto

Pezzi da trattare:	fusioni di ghisa per valvole oleodinamiche in 7 modelli differenti
Dimensioni pezzi:	diametro 350 mm – altezza 350 mm – peso 50 kg. max.
Produzione:	2 pezzi/ora max. (funzionamento di 16 ore/giorno)
Numero di stazioni:	3 (una di carico e scarico e 2 di lavoro)
Pezzi per stazione:	1
Numero lance:	2 da 3/8"
Carica di abrasivo:	3000 kg.
Tipo di abrasivo:	460 ASTM11-81 steel shot
Consumo d'aria:	21 Nm <sup>3</sup> /min at 6 Bar instantanei
Potenza installata:	10 kW incluso il ventilatore filtro
Ventilazione:	2300 m <sup>3</sup> /hour
Rumorosità:	≤ 85 dB(A) l.eq. a 1,5 m di distanza dalla cabina

#### Risultati ottenuti

L'intenso sviluppo del progetto e della costruzione della macchina, ha avuto luogo nel Wheelabrator Heavy Duty Technology Center di Caronno P.la (VA) – Italy nell'anno 2008, l'installazione presso il cliente e la messa in esercizio è avvenuta nell'anno 2009.

Il continuo interfacciamento tra l'ufficio progettazione di Wheelabrator ed il Project Management tecnico di Bosch, ha permesso la realizzazione di una macchina di pallinatura in grado di rispettare le specifiche tecniche richieste dal cliente. La qualità del prodotto finito è stata assicurata, tramite l'accurata progettazione, con una facile regolazione dei parametri di funzionamento, permettendo così una ripetitività costante del processo di pallinatura e di conseguenza, del risultato di finitura superficiale.

## CONCLUSIONI

I metodi di granigliatura, pallinatura e shot peening sono usati sia per ragioni estetiche, modificando le condizioni della superficie, sia per ragioni meccaniche per incrementare la resistenza ed in generale le caratteristiche meccaniche del pezzo trattato in condizioni di lavoro gravoso. Sotto l'azione della compressione generata dall'impatto del pallino di abrasivo, le proprietà dello strato superficiale del prodotto trattato vengono modificate in maniera sostanziale; i parametri funzionali e di resistenza del pezzo trattato, vengono notevolmente migliorati a patto dell'esecuzione di un processo corretto.

La metodologia di granigliatura e pallinatura fin qui descritta, è riferita alla metodologia "classica", consolidata da molto tempo, e che utilizza l'aria compressa o la turbina per accelerare le particelle di graniglia. Volutamente non è stato trattato il processo di pallinatura controllata mediante la tecnologia del laser ad alta pressione.

E' un processo altamente tecnologico ed è utilizzato soprattutto in campo aerospaziale con dei costi ben diversi rispetto ai metodi classici esposti in questa trattazione. Esso permette una compressione dello strato superficiale molto elevata, in quanto è in grado di andare ad profondità di 5 volte superiore rispetto ai metodi classici a turbina o ad aria compressa. Questo sistema molto avanzato, richiederebbe una complessa trattazione a parte.

Se la maggior parte dei produttori di componentistica meccanica nel campo aerospaziale, energia ed automotive, (quali alberi a camme, alberi motore, alberi di trasmissione, ecc...) utilizzano ampiamente i processi di shot peening per incrementare la resistenza a fatica dei componenti sottoposti a stress ciclici durante il funzionamento, non è così per molti produttori di componenti da fusione.

La maggior parte dei produttori dei getti non conoscono tutti i vantaggi del trattamento con granigliatura e pallinatura, ma si dovrebbe sottolineare che i getti puliti con questi metodi hanno gli strati superficiali di ottima qualità. La condizione migliorata della superficie viene raggiunta con l'aumento della resistenza alla rottura per stress fisico, una migliore resistenza alla corrosione e una maggiore durezza degli strati superficiali, che hanno un effetto benefico sulla qualità funzionale dei prodotti di colata.

Per soddisfare i requisiti delle condizioni di superficie, i parametri di processo devono essere controllati con precisione: intensità del getto di abrasivo (misurata con l'uso delle placchette di controllo Almen) e tempo di trattamento. È necessario che le condizioni di processo rimangano stabili, il che richiede il monitoraggio e il controllo costante dei parametri di processo e delle condizioni della miscela operativa.



## PROFILI DI RISCHIO PER GLI ADDETTI ALLA SABBIATURA, CENNI

Per quanto abbiamo visto nella trattazione precedente, non vi è dubbio che ci sono degli evidenti rischi per la salute in cui possono incorrere gli addetti agli impianti di granigliatura, pallinatura e sabbiatura.

Il profilo di rischio per gli addetti alla sabbiatura è stato redatto da INAIL (ex ISPSEL) sulla base delle Schede Internazionali sui Rischi delle Professioni ed è codificato come *S.P.R. 26 Addetto alla sabbiatura*.

Tale scheda è composta da 5 punti:

**Punto 1:** Sono indicate le informazioni riguardanti i pericoli relativi alla professione e alle macchine utilizzate.

**Punto 2:** Con una tabella del profilo di rischio sono illustrati in modo dettagliato i rischi e le misure di sicurezza o le protezioni da adottare.

**Punto 3:** Vi è un elenco di suggerimenti per le misure di prevenzione e protezione.

**Punto 4:** Se individuate, vi è un elenco di buone prassi da seguire.

**Punto 5:** Vi sono le informazioni specialistiche rivolte ai professionisti in materia di salute e sicurezza sul lavoro.

### **Chi è l'operatore addetto alla sabbiatura?**

È un lavoratore specializzato, istruito nell'uso della sabbiatrice intesa sia come macchina, ed in tal caso è addetto al carico e scarico della macchina che esegue il processo di sabbiatura, oppure è colui che, in una camera a tenuta di polvere, esegue la sabbiatura manuale dei pezzi tenendo in mano un lancia o una pistola di sabbiatura.

### **Quali fattori di rischio sono connessi con la professione?**

- Lesioni dell'apparato muscolare e scheletrico a causa di un lavoro ripetitivo e dalla movimentazione manuale dei carichi;
- Lesioni all'apparato uditivo (ipoacusia, perdita dell'udito) causate dall'esposizione a rumore elevato;
- Malattie dell'apparato respiratorio, dermatologiche dovute per l'inalazione e il contatto con le polveri.
- Traumi, lacerazioni, contusioni, ferite, schiacciamenti provocati dalla movimentazione dei pezzi, cadute e scivolamenti;
- Patologie al sistema mano/braccio dovute alle vibrazioni trasmesse dalla macchina;
- Rischio di incendio

I rischi a cui va incontro l'operatore devono essere riportati nella scheda *Rischi Residui* del manuale di istruzione con indicati i dispositivi di protezione individuali obbligatori DPI.

## AZIENDE FONDATRICI E STORICHE, CENNI

### **Wheelabrator Group**

La società Wheelabrator ha una storia antica, che risale alla seconda metà del 19° secolo. Benjamin Chew Tilghman (1821 - 1901) inventò il processo di sabbiatura nel 1870, ottenendo il relativo brevetto negli USA. Costituì la "*Tilghman's Patent Sand Blast Co.*" nella Gray's Inn Road di Londra e nel 1879 trasferì tale società ad Altrincham. Più tardi l'azienda divenne dapprima Tilghman Wheelabrator e poi Wheelabrator Group. La sede principale si trova ancora oggi ad Altrincham, nel Regno Unito. Alcuni dissentono ed affermano che ad inventare la prima turbina per granigliatura è stato Louis D. Peik, della American Foundry Equipment Co. che ha brevettato la granigliatura a turbina nel 1933.

### **DISA**

La società *DISA* è stata fondata nel 1900, il nome è l'acronimo di "*Dansk Industri Syndikat A/S*", è un'azienda metallurgica danese. Inizia come produttrice di armi da fuoco e poi si specializza nella produzione di macchine per fonderia. Gravemente danneggiata nel corso della seconda guerra mondiale, riprese la produzione nel dopoguerra con la costruzione su brevetto di un nuovo procedimento per la produzione di stampi per la colata in sabbia. Dal 2008 è stata acquisita dalla multinazionale Norican Group entrando a far parte della società Wheelabrator.

### **Badische Maschinenfabrik a Durlach (BMD)**

Fondata attorno al 1890 in Germania, ha brevettato la "*Gussputzmaschine*". Il brevetto descriveva il funzionamento della macchina nei termini seguenti: "*Per la pulizia dei pezzi è necessaria una turbina che gira ad alta velocità ed emette dal centro sabbia, pietre, ferro granulato e altri materiali simili per pulire la superficie dei pezzi.*" La Badische Maschinenfabrik & Eisengiesserei (successivamente BMD) è un'ex società *DISA* e perciò anch'essa è un'ex azienda Wheelabrator.

### **Pangborn® Corporation**

La *Pangborn® Corporation* fu fondata nel 1904, anno in cui Thomas Wesley Pangborn (1880 – 1967) sviluppa il processo noto come sabbiatura, che unisce aria compressa e sabbia per ottenere la pulizia del metallo tramite l'impatto delle particelle di abrasivo sulla superficie da trattare. Negli anni 50 viene aperta una società in Italia per commercializzare le macchine Pangborn con il nome Fondermatica con sede a Milano. Dal 1962 si trasferisce nella provincia a nord di Milano (Caronno Pertusella) cambiando poi nome in Pangborn Europe S.p.A. occupandosi del mercato europeo, medio orientale ed asiatico.

### **Berger Strahltechnik**

La *Berger Strahltechnik GmbH* di Hagen (Germania) è stata fondata nel 1873 come fonderia per acciaio e ha iniziato la produzione di macchine per frantumazione, per la produzione della gomma e di altro tipo agli inizi del XX secolo. Nel 1931, *Berger Strahltechnik* ha avviato la produzione di granigliatrici, e dal 2008 è entrata a far parte del gruppo *Pangborn® Corporation*.

### **Vogel & Schemmann (V+S)**

La *Vogel & Schemmann Maschinen GmbH (V+S)* è stata fondata nel 1891. Ha iniziato a produrre macchine per l'industria siderurgica e successivamente ha sviluppato una propria linea di granigliatrici, per la decalaminazione e la discagliatura, pulizia, pallinatura e altro ancora in fonderia, forgia e altri settori e ambienti. Dal 2008 è entrata a far parte del gruppo *Pangborn® Corporation* ed è stata accorpata assieme alla società *Berger* ad Hagen.

### **Rösler Oberflächentechnik**

La *Rösler Oberflächentechnik GmbH*, ha una storia che inizia nel 1933 con una società di produzione di porcellana in Dessendorf (Sudeti). Il fondatore della società, Richard Stephan Rösler nel 1948 dopo la guerra ricostruisce lo stabilimento in Baviera. Inizialmente produce tappi per bottiglie di birra, porcellana farmaceutica e ceramiche tecniche. Dalla seconda metà degli anni 50 si dedica alla produzione di macchine per la vibrofinitura. Dal 1990 entra nel settore della granigliatura con la produzione di impianti di alto livello tecnologico. La sede principale di Memmelsdorf ospita anche la *Rösler Academy*.

### **Carlo Banfi S.p.A.**

La *Carlo Banfi S.p.A.* È stata fondata nel 1938 a Rescaldina (MI) in Italia dal fondatore Carlo Banfi ed inizia con la produzione di impianti di sabbatura e granigliatura in concorrenza alle grandi società statunitensi e tedesche. La crisi del 2010 ne provoca la chiusura per fallimento. L'asta giudiziaria del 2017 porta all'acquisizione del marchio alla società *OMSG S.r.l.* Di Villa Cortese (MI).

Vi sono poi altre numerose aziende di piccola dimensione, dai 10 ai 55 addetti ciascuna, che sono sorte tra gli anni 50 e gli anni 70 del secolo scorso in tutta Europa ed in Asia e che sono state fondate da persone fuoriuscite dalle Aziende maggiori sopra descritte o che lavoravano come fornitori di carpenteria o di parti meccaniche per le suddette.

In Italia ricordiamo le seguenti società: Tosca di Canegrate, Turbotecnica di Legnano, Cogem di Casorezzo, OMSG di Villa Cortese, tutte residenti in provincia di Milano.

## BIBLIOGRAFIA

- A. Fedoryszyn, P. Zyzak.  
*Characteristics of the outer surface layers in casts subject to shot blasting treatment.*  
Faculty of foundry engineering, University of science and technology Krakow,  
Poland, 2010.
- Andreini Pierangelo.  
*Manuale dell'Ingegnere Meccanico.*  
Ulrico Hoepli, 2005.
- Archimede Isidoro.  
*Granigliatura e sue applicazioni.*  
Archimede Isidoro Rappresentanze, 2014.
- Boarino Renzo.  
*Pretrattamento delle superfici mediante granigliatura. La tecnologia attuale e nuove soluzioni.*  
CISP, 2010.
- Caligaris Luigi, Fava Stefano, Tomasello Carlo.  
*Manuale di Meccanica*  
Ulrico Hoepli, 2006
- Chichi Francesco  
*Quaderni di progettazione: l'ingegneria delle superfici, lo shot peening*  
Il progettista industriale - 2017
- Garmisch – Partenkirchen  
*Shot Peening – International conference on Shot Peening 2002*  
Lothar Wagner - 2003
- H.J. Plaster  
*A Tribute to Benjamin Chew Tilghmann*  
Conf Proc: ICSP-5, (p. 2-9),  
Electronics Incorporated - Shot Peening Library 1993
- INAIL (ex ISPSEL)  
*S.P.R. 26 Addetto alla sabbiatura*  
ISPSEL 2010
- Paracchini Luigi.  
*Manuale di trattamenti e finiture.*  
Tecniche Nuove, 2003.
- W.A. Mallory.  
*Guidelines for Centrifugal Blast Cleaning.*